

# **СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ**

**Научный журнал Российской академии наук  
(издается под руководством Отделения нанотехнологий  
и информационных технологий РАН)**

Издается с 1989 года  
Журнал выходит ежеквартально

**Учредитель:**  
**Федеральный исследовательский центр  
«Информатика и управление» Российской академии наук**

## **РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

академик РАН И. А. Соколов — председатель Редакционного совета  
академик РАН Г. И. Савин  
академик РАН А. Л. Стемповский  
член-корреспондент РАН Ю. Б. Зубарев  
профессор Ш. Долев (S. Dolev, Beer-Sheva, Israel)  
профессор Ю. Кабанов (Yu. Kabanov, Besancon, France)  
профессор В. Ротарь (V. Rotar, San-Diego, USA)  
профессор М. Финкельштейн (M. Finkelstein, Bloemfontein, South Africa)

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

академик РАН И. А. Соколов — главный редактор  
профессор, д.ф.-м.н. С. Я. Шоргин — заместитель главного редактора  
д.т.н. В. Н. Захаров  
проф., д.ф.-м.н. А. И. Зейфман  
проф., д.т.н. В. Д. Ильин  
проф., д.т.н. К. К. Колин  
проф., д.ф.-м.н. В. Ю. Королев  
к.ф.-м.н. Р. В. Разумчик  
д.ф.-м.н. В. И. Сеницын  
проф., д.т.н. И. Н. Сеницын  
проф., д.ф.-м.н. В. Г. Ушаков  
к.ф.-м.н. А. К. Горшенин — отв. секретарь  
к.ф.-м.н. С. А. Христочевский

## **Редакция**

к.ф.-м.н. Е. Н. Арутюнов  
к.ф.-м.н. Р. В. Разумчик  
С. Н. Стригина

© Федеральный исследовательский центр «Информатика  
и управление» Российской академии наук, 2020

Журнал включен в базу данных Russian Science Citation Index (RSCI),  
интегрированную с Web of Science

Журнал входит в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)  
Журнал включен в базу данных CrossRef (систему DOI — Digital Object Identifier),  
в базу данных Ulrich's periodicals directory

и в информационную систему «Общероссийский математический портал Math-Net.Ru»

Журнал реферируется в «Реферативном журнале» ВИНТИ  
и в системе Google Scholar

Журнал включен в сформированный Минобрнауки России Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

<http://www.ipiran.ru/journal/collected>

# СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ

Том 30 № 3 Год 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

Оценки распределения потоков при предельной загрузке многопользовательской сети	
<b>Ю. Е. Малашенко, И. А. Назарова</b>	<b>4</b>
Стационарные характеристики двухузловой марковской системы массового обслуживания с обобщенным обновлением	
<b>Л. А. Мейханаджян, И. С. Зарядов, Т. А. Милованова</b>	<b>14</b>
Об эргодичности одноканальных систем массового обслуживания с дисциплиной абсолютного приоритета	
<b>А. В. Мистрюков</b>	<b>32</b>
Решение гомогенных диагностических задач специалистом в медицине	
<b>С. Б. Румовская, А. В. Колесников</b>	<b>39</b>
Устойчивость самосинхронного конвейера к логическим сбоям в комбинационной части	
<b>Ю. А. Степченков, Ю. Г. Дьяченко, Ю. В. Рождественский, Н. В. Морозов, Д. Ю. Степченков, Д. Ю. Дьяченко</b>	<b>49</b>
Статический способ стеганографического встраивания информации на основе LSB	
<b>И. А. Кривошеев, М. А. Линник</b>	<b>56</b>
Методика темпоральной оценки нестабильности машинного перевода	
<b>А. Ю. Егорова, И. М. Зацман, М. Г. Кружков, В. А. Нуриев</b>	<b>67</b>
Организация жизненного цикла исследовательских данных	
<b>А. К. Рычихин, В. А. Нуриев</b>	<b>81</b>
Угрозы и риски реализации комплексных научно-технических программ в рамках приоритетов Стратегии научно-технологического развития России	
<b>А. А. Зацаринный, А. П. Сучков</b>	<b>97</b>

# СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ

Том 30 № 3 Год 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

Алгоритмы аналитической обработки данных системы управления научными сервисами для планирования и выполнения междисциплинарных научных исследований <b>А. П. Сучков</b>	<b>112</b>
Актуальные проблемы информационной безопасности в условиях пандемии коронавируса <b>В. Е. Гаврилов, А. А. Зацаринный</b>	<b>123</b>
Разработка модуля для измельчения ячеек расчетных сеток в нескольких направлениях и его интеграция в GUI для программной среды OpenFOAM <b>Д. И. Читалов</b>	<b>133</b>
Автоматизированный поиск противоречий в конкретно-исторической информации <b>И. М. Адамович, О. И. Волков</b>	<b>145</b>
Ситуационная модель универсального договора в цифровой среде <b>А. В. Ильин, В. Д. Ильин</b>	<b>154</b>
Базисные информационные технологии и «промышленные революции»: какова их взаимосвязь? <b>С. Н. Гринченко</b>	<b>163</b>

## ИСТОРИЯ. ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ. СОБЫТИЯ

Стохастические системы и развитие организационно-технико-экономических систем (к восьмидесятилетию заслуженного деятеля науки Российской Федерации И. Н. Сеницына) <b>И. А. Соколов, В. Н. Захаров, С. Я. Шоргин, Э. Р. Корепанов, В. И. Сеницын</b>	<b>172</b>
Об авторах	<b>196</b>
Правила подготовки рукописей статей	<b>199</b>
Requirements for manuscripts	<b>203</b>

## ОЦЕНКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ ПРИ ПРЕДЕЛЬНОЙ ЗАГРУЗКЕ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ СЕТИ

*Ю. Е. Малашенко<sup>1</sup>, И. А. Назарова<sup>2</sup>*

**Аннотация:** Рассматривается итерационный метод последовательного распределения многопродуктового потока, позволяющий полностью использовать пропускную способность всех ребер сети. В рамках формальной математической записи модели сети определяются векторы потоков, которые могут одновременно передаваться между всеми парами вершин. Последовательно находятся совместные распределения потоков, при которых достигается предельно возможная загрузка одного из ребер. Достигнутые значения потоков для всех пар узлов-корреспондентов фиксируются, и вычисляется остаточная пропускная способность. На следующем этапе вновь решается задача поиска совместного распределения максимально возможных потоков и выявляется очередное ребро, пропускная способность которого оказывается исчерпанной. Процедура повторяется до тех пор, пока остаточная пропускная способность всех ребер не окажется равной нулю. Анализируются результаты вычислительных экспериментов на моделях сетей с разными структурными особенностями. Предложенная процедура может применяться при априорном анализе функциональных возможностей и для оценки эффективности использования ресурсов сети.

**Ключевые слова:** множество достижимых потоков; равнодолевое распределение потоков; оценка эффективности сети

**DOI:** 10.14357/08696527200301

### 1 Введение

В работе рассматривается итерационный метод формирования вектора допустимых потоков, при передаче которых полностью используются пропускные способности всех ребер. В основе процедуры лежит поиск максимального потока, который можно передать в монопольном режиме между заданной парой вершин. Полученные распределения служат граничными точками множества допустимых межузловых потоков. Указанный метод был использован при аппроксимации множества достижимых потоков многопользовательской сети [1]. Анализ последствий структурных повреждений многопродуктовой сети [2] также базируется на вычислении максимального потока для каждой пары вершин независимо,

---

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, malash09@ccas.ru

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, igina-nazar@yandex.ru

без учета остальных. Относительная простота и небольшие вычислительные затраты позволили применить данный подход для получения гарантированных векторных оценок функциональных возможностей сетей связи [3]. В настоящей работе оценку эффективности использования ресурсов в полностью загруженной сети предлагается проводить, основываясь на вычисленных максимальных межузловых потоках при фиксированных маршрутах передачи между всеми корреспондентами.

## 2 Математическая модель

Для описания многопользовательской сетевой системы используется математическая запись модели передачи многопродуктового потока [4]. Структура сети  $G(\mathbf{d})$  задается множествами  $\langle V, R, U \rangle$ : узлов (вершин) сети  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n, \dots, v_N\}$ ; неориентированных ребер  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_k, \dots, r_E\} \subset V \times V$ . Ребро  $r_k = (v_{n_k}, v_{j_k})$  соединяет вершины  $v_{n_k}$  и  $v_{j_k}$  (инцидентно вершинам  $v_{n_k}$  и  $v_{j_k}$ ), которые для него служат концевыми. Предполагается, что в сети отсутствуют петли и двоянные ребра. Ребру  $r_k$  ставятся в соответствие две ориентированные дуги  $u_k$  и  $u_{k+E}$  прямого и обратного направления из множества ориентированных дуг  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_k, \dots, u_{2E}\}$ . Дуги  $\{u_k, u_{k+E}\}$  определяют направление передачи потока по ребру  $r_k$  между концевыми вершинами  $v_{n_k}$  и  $v_{j_k}$ .

Обозначим через  $S(v_n)$  множество номеров исходящих дуг, по которым поток покидает узел  $v_n$ ;  $T(v_n)$  — множество номеров входящих дуг, по которым поток поступает в узел  $v_n$ . Состав множеств  $S(v_n)$ ,  $T(v_n)$  однозначно определяется в ходе выполнения следующей процедуры. Пусть некоторое ребро  $r_k \in R$  соединяет вершины с номерами  $n$  и  $j$ , такими что  $n < j$ . Тогда ориентированная дуга  $u_k = (v_n, v_j)$  считается *исходящей* из вершины  $v_n$  и ее номер  $k$  заносится в множество  $S(v_n)$ , ориентированная дуга  $u_{k+E} = (v_j, v_n)$  — *входящей* для  $v_n$  и ее номер  $k + E$  помещается в список  $T(v_n)$ . Соответственно, дуга  $u_k$  является *входящей* для  $v_j$  и ее номер  $k$  попадает в  $T(v_j)$ , а дуга  $u_{k+E}$  — *исходящей* и номер  $k + E$  вносится в список исходящих дуг  $S(v_j)$ .

Предполагается, что в сети между любой парой узлов могут передаваться потоки разных видов. Пара узлов-корреспондентов  $p_m$  определяется упорядоченной парой вершин  $p_m = (v_{s_m}, v_{t_m})$ , где вершина с номером  $s_m$  называется источником, а с номером  $t_m$  — стоком, или приемником, потока  $m$ -го вида. В настоящей работе в сети из  $N$  узлов рассматривается  $M = N(N - 1)$  независимых, невзаимозаменяемых и равноправных потоков различных видов, которые могут передаваться одновременно между узлами-корреспондентами из множества  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_M\}$ .

Пусть  $x_{mk}$  — величина потока  $m$ -го вида, который передается по ребру  $r_k$ ,  $x_{mk} \geq 0$ ,  $m = \overline{1, M}$ ,  $k = \overline{1, E}$ . Каждому ребру  $r_k \in R$  приписывается неотрицательное число  $d_k$ , определяющее суммарный предельно допустимый поток,

который можно передать по ребру  $r_k$  в обоих направлениях. В исходной сети компоненты вектора пропускных способностей  $\mathbf{d} = (d_1, d_2, \dots, d_k, \dots, d_E)$  — наперед заданные положительные числа  $d_k > 0$ . Вектором  $\mathbf{d}$  определяются следующие ограничения на все потоки, передаваемые по ребру  $r_k$ :

$$\sum_{m=1}^M (x_{mk} + x_{m(k+E)}) \leq d_k, \quad x_{mk} \geq 0, \quad x_{m(k+E)} \geq 0, \quad k = \overline{1, E}. \quad (1)$$

Ограничения (1) задают множество

$$\mathcal{X}(\mathbf{d}) = \{\mathbf{x} \geq 0 \mid \mathbf{x} \text{ удовлетворяют (1)}\}$$

допустимых значений компонент вектора потоков по ребрам сети  $\mathbf{x} = (x_{mk}, x_{m(k+E)})$ ,  $m = \overline{1, M}$ ,  $k = \overline{1, E}$ .

Обозначим через  $z_m$  величину потока  $m$ -го вида, который поступает в сеть в узле с номером  $s_m$  и покидает из узла с номером  $t_m$ .

Во всех узлах сети  $v_n \in V$ ,  $n = \overline{1, N}$ , для всех видов потоков должны выполняться условия сохранения потоков:

$$\sum_{i \in S(v_n)} x_{mi} - \sum_{i \in T(v_n)} x_{mi} = \begin{cases} z_m, & \text{если } v_n = v_{s_m}; \\ -z_m, & \text{если } v_n = v_{t_m}; \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad n = \overline{1, N}, \quad m = \overline{1, M}, \quad x_{mi} \geq 0, \quad z_m \geq 0. \quad (2)$$

Величина  $z_m$  равна входному потоку  $m$ -го вида, который может быть пропущен от источника к стоку пары  $p_m$  при распределении потоков  $x_{mi}$  по дугам сети.

Условия сохранения потоков в узлах сети (2) устанавливают взаимосвязь векторов  $\mathbf{x}$  и  $\mathbf{z} = (z_1, z_2, \dots, z_m, \dots, z_M)$ . Ограничения (1), (2) задают множество допустимых значений компонент вектора межузловых потоков:

$$\mathcal{Z}(\mathbf{x}, \mathbf{d}) = \{\mathbf{z} \geq 0 \mid (\mathbf{z}, \mathbf{x}) \text{ удовлетворяют (1), (2)}\}.$$

### 3 Предельная загрузка сети

Рассмотрим пошаговую процедуру определения вектора потоков, при котором достигается предельно возможная загрузка всех ребер сети. На первом этапе для произвольной пары узлов-корреспондентов  $p_a \in P$  определяется максимальный поток [5], который можно независимо передать в сети из вершины с номером  $s_a$  в вершину с номером  $t_a$  без учета всех остальных.

**Задача 1.** Найти  $z_a^0(1) = \max_{\mathbf{z}, \mathbf{x}} z_a$

при условиях  $(\mathbf{z}, \mathbf{x}) \in \mathcal{Z}(\mathbf{x}, \mathbf{d})$ ,  $z_m = 0$ ,  $m \neq a$ ,  $m = \overline{1, M}$ .

Обозначим  $(x_{ak}^0(1), x_{a(k+E)}^0(1))$ ,  $k = \overline{1, E}$ , потоки по ребрам сети, которые соответствуют оптимальному решению задачи — максимальному независимому потоку  $z_a^0(1)$ . Последовательное решение задачи 1 для всех  $p_m \in P$  позволяет сформировать векторы  $\mathbf{z}^0(1) = \{z_1^0(1), z_2^0(1), \dots, z_m^0(1), \dots, z_M^0(1)\}$  и  $\mathbf{x}^0(1) = (x_{mk}^0(1), x_{m(k+E)}^0(1))$ ,  $m = \overline{1, M}$ ,  $k = \overline{1, E}$ .

На основании векторов  $\mathbf{z}^0(1), \mathbf{x}^0(1)$  находится допустимое распределение потоков, пропорциональных максимально возможному для каждой пары  $p_m \in P$ . Значение коэффициента пропорциональности определяется минимальной пропускной способностью наиболее загруженного ребра.

**Задача 2.** Найти  $\alpha^*(1) = \max_{\alpha} \alpha$ ,

$$\alpha \sum_{m=1}^M x_{mk}^0(1) + \alpha \sum_{m=1}^M x_{m(k+E)}^0(1) \leq d_k,$$

при условиях  $x_{mk}^0 \geq 0$ ,  $x_{m(k+E)}^0 \geq 0$ ,  $k = \overline{1, E}$ ,

$$\alpha \sum_{i \in S(v_n)} x_{mi}^0(1) - \alpha \sum_{i \in T(v_n)} x_{m(i+E)}^0(1) = \begin{cases} \alpha z_m^0(1), & \text{если } v_n = v_{s_m}; \\ -\alpha z_m^0(1), & \text{если } v_n = v_{t_m}, \end{cases}$$

$$n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}, x_{mi}^0 \geq 0, z_m^0(1) \geq 0.$$

Векторы  $\mathbf{z}^*(1) = \alpha^*(1)\mathbf{z}^0(1)$ ,  $\mathbf{x}^*(1) = \alpha^*(1)\mathbf{x}^0(1)$  определяют допустимое распределение потоков, которые пропорциональны максимально возможным для каждой пары узлов источник–приемник  $p_m \in P$ . На всех последующих этапах найденные потоки  $\mathbf{z}^*(1), \mathbf{x}^*(1)$  фиксируются и остаются неизменными до окончания процедуры.

На следующем этапе для всех ребер сети вычисляется остаточная пропускная способность

$$d_k(2) = d_k - \left[ \sum_{m=1}^M x_{mk}^*(1) + \sum_{m=1}^M x_{m(k+E)}^*(1) \right], \quad k = \overline{1, E},$$

и последовательно решается цепочка задач 1, но для вектора  $d_k(2)$ .

**Задача 3.** Для некоторой пары узлов  $p_a$  найти  $z_a^0(2) = \max_{\mathbf{z}, \mathbf{x}} z_a$

при условиях:  $(\mathbf{z}, \mathbf{x}) \in \mathcal{Z}(\mathbf{x}, \mathbf{d}(2))$ ;  $z_m = 0$ ,  $m \neq a$ ,  $m = \overline{1, M}$ .

Оптимальному решению задачи 3 — максимальному потоку  $z_a^0(2)$  — соответствует распределение потоков по ребрам сети  $(x_{ak}^0(2), x_{a(k+E)}^0(2))$ ,  $k = \overline{1, E}$ . Последовательное решение задачи 3 для всех  $p_m \in P$  позволяет сформировать векторы  $\mathbf{z}^0(2) = \{z_1^0(2), z_2^0(2), \dots, z_m^0(2), \dots, z_M^0(2)\}$  и  $\mathbf{x}^0(2) = (x_{mk}^0(2), x_{m(k+E)}^0(2))$ ,  $k = \overline{1, E}$ ,  $m = \overline{1, M}$ . Допустимое распределение

потоков, пропорциональных максимально возможным на данном этапе, определяется минимальной остаточной пропускной способностью ребра из решения задачи 4.

**Задача 4.** Найти  $\alpha^*(2) = \max_{\alpha}$ ,

$$\alpha \sum_{m=1}^M x_{mk}^0(2) + \alpha \sum_{m=1}^M x_{m(k+E)}^0(2) \leq d_k(2),$$

при условиях  $x_{mk}^0 \geq 0$ ,  $x_{m(k+E)}^0 \geq 0$ ,  $z_m^0(2) \geq 0$ ,  $k = \overline{1, E}$ ,  $m = \overline{1, M}$ .

На основании решения задачи 4 выписываются векторы допустимых потоков

$$\mathbf{z}^*(2) = \alpha^*(2)\mathbf{z}^0(2), \quad \mathbf{x}^*(2) = \alpha^*(2)\mathbf{x}^0(2)$$

и для всех ребер сети определяется остаточная пропускная способность

$$d_k(3) = d_k(2) - \left[ \sum_{m=1}^M x_{mk}^*(2) + \sum_{m=1}^M x_{m(k+E)}^*(2) \right], \quad k = \overline{1, E}.$$

Если после завершения очередного шага  $T$  окажется, что хотя бы для одного  $r_k \in R$  величина остаточной пропускной способности  $d_k(T+1) > 0$ , то переходим к шагу  $T+1$ . Если же  $d_k(T+1) = 0$  для всех  $k = \overline{1, E}$ , то происходит останов, поскольку все пропускные способности сети полностью исчерпаны.

После останова вычисляются потоки

$$z_m^*(T) = \sum_{t=1}^T z_m^*(t) = \sum_{t=1}^T \alpha^*(t) z_m^0(t), \quad m = \overline{1, M},$$

при которых достигается полная загрузка сети.

Для каждой пары источник–приемник вводятся и вычисляются величины

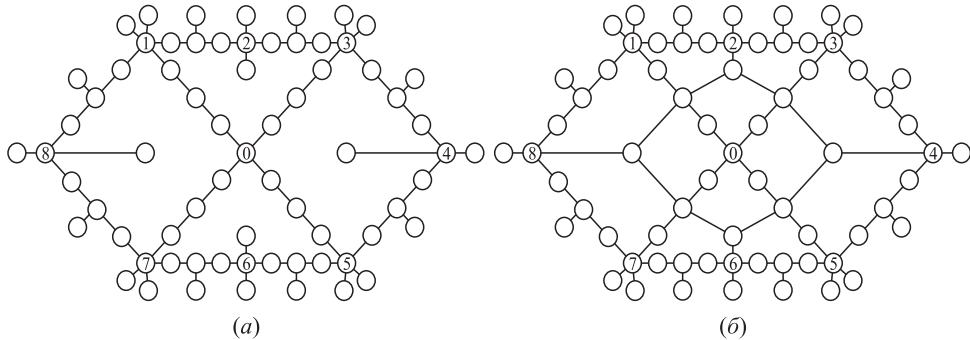
$$\eta_m = \frac{z_m^*(T)}{z_m^*(1)}, \quad m = \overline{1, M},$$

показывающие, насколько потоки, полученные на первом шаге, отличаются от финальных значений.

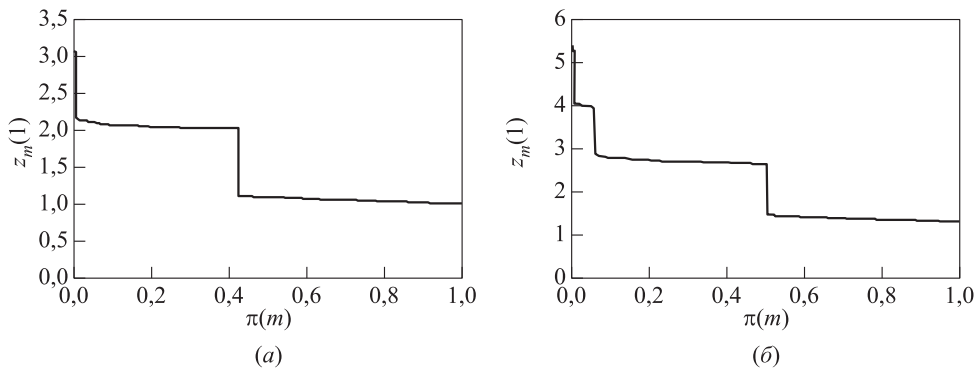
## 4 Вычислительный эксперимент

Вычислительный эксперимент проводился на моделях сетевых систем, представленных на рис. 1. В каждой сети 69 узлов. Пропускные способности ребер —





**Рис. 1** Модели сетевых систем: (а) базовая сеть; (б) кольцевая сеть



**Рис. 2** Диаграмма потоков: (а) базовая сеть; (б) кольцевая сеть

значения  $d_k$  — выбирались случайным образом из отрезка  $[900, 999]$  и совпадали для ребер, общих для обеих сетей. В кольцевой сети пропускная способность всех добавленных ребер составила 900. В ходе вычислительного эксперимента на первом этапе для всех  $p_m \in P$  решались задачи 1, 2 и формировался вектор  $\mathbf{z}^*(1)$ .

На рис. 2 по вертикальной оси отложены компоненты вектора  $\mathbf{z}^*(1)$ , упорядоченные по убыванию (невозрастанию) величины. По горизонтальной оси откладываются значения

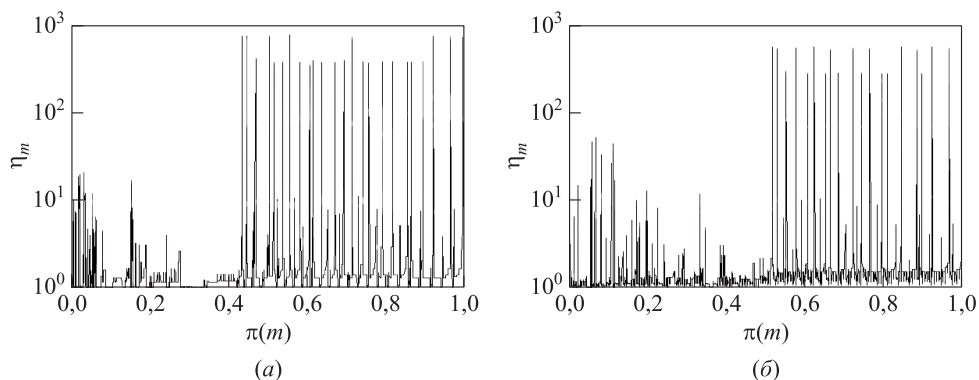
$$\pi(m) = \frac{m}{M}, \quad m = \overline{1, M},$$

соответствующие номерам пар узлов-корреспондентов  $p_m \in P$ .

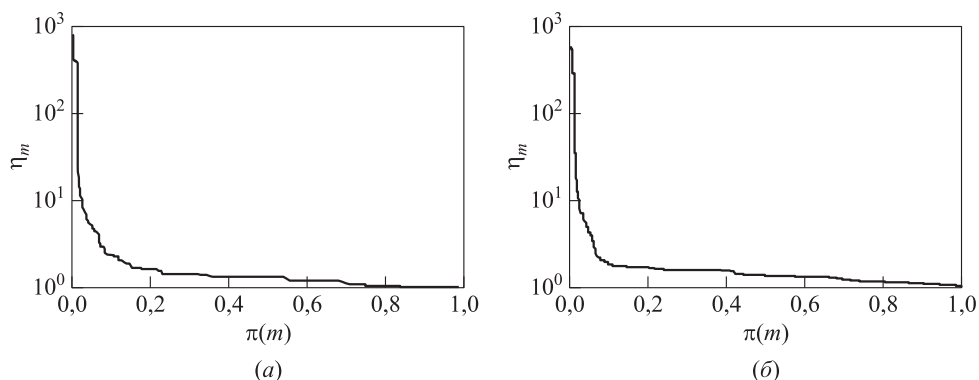
На рис. 3 по вертикальной оси в логарифмическом масштабе откладываются значения  $\eta_m = z_m^*(T)/z_m^*(1)$ ,  $m = \overline{1, M}$ . Разброс данных на диаграммах

рис. 3 показывает, что для некоторых пар источник–приемник окончательные, *финальные* значения потоков намного превышают исходные  $\mathbf{z}^*(1)$ .

При выполнении процедуры *заполнения* сети на каждом шаге потоки распределяются строго пропорционально текущим максимально достижимым значениям  $z_m^0(t)$  при заданных остаточных пропускных способностях  $d_m(t)$ . На завершающих итерациях для большого числа ребер  $d_m(t) = 0$  и для многих пар величина  $z_m^0(t)$  также равна нулю. Однако для ребер, соединяющих с сетью висячие вершины, остаточная пропускная способность на финальных итерациях может составлять половину от исходной. В результате для пар узлов-корреспондентов «висячий узел–узел, соседний с висячим» значения  $z_m^0(T - 1)$  и  $\eta_m$  могут оказаться очень большими, а при этом  $z_m^0(T - 1)$  будет равно остаточной пропускной способности.



**Рис. 3** Финальные значения потоков: (а) базовая сеть; (б) кольцевая сеть



**Рис. 4** Финальные потоки, упорядоченные по величине: (а) базовая сеть; (б) кольцевая сеть

На рис. 4 величины  $\eta_m$  расположены по убыванию (невозрастанию). Значения  $\eta_m \geq 10$  расположены ближе к вертикальной оси и соответствуют парам, получившим большие значения  $z_m^0(t)$  на последних итерациях. В базовой сети для более 85% пар  $\eta_m \leq 2$  со средним значением  $\eta_m = 1,3$ . И только для 2,5% пар  $\eta_m \geq 10$ . В кольцевой сети для более 90% пар  $\eta_m \leq 2$ , для 2% пар  $\eta_m \geq 10$ . Таким образом, значение  $\eta_m \geq 10$  достигается менее чем у 3% пар, которым достается большая часть остаточной пропускной способности. Указанную пропускную способность невозможно распределить пропорционально максимально возможным потокам на каждом шаге. Однако для 90% пар процедура позволяет получить почти *равноправное* распределение при полной загрузке сети.

В ходе вычислительного эксперимента определялись ребра с *избыточной* пропускной способностью. Таким образом, рассмотренная процедура заполнения сети может быть применена для оценки эффективности использования основного ресурса — пропускной способности сети.

## 5 Заключение

Предложенную вычислительную схему можно использовать для априорной оценки функциональных возможностей сети. В частности, вектор  $\mathbf{x}^0(1)$ , найденный при решении цепочки задач 1, описывает предельно допустимый поток по ребрам соответствующих минимальных разрезов. Вектор-решение  $\mathbf{x}^0(1)$  содержит детализированную информацию о распределении потоков по ребрам каждого маршрута соединения при предельной загрузке всех минимальных разрезов. Поскольку при решении задач 2 для всех пар узлов  $p_m \in P$  фиксируются потоки  $\mathbf{x}^*(1) = \alpha^*(1)\mathbf{x}^0(0)$ , то фактически запоминаются и хранятся маршруты передачи потоков, найденные при решении задач 1. На последующих этапах при текущем векторе остаточных пропускных способностей определяются максимальные потоки и новые маршруты передачи, которые могут отличаться от полученных и зафиксированных ранее. Таким образом, при реализации процедуры накапливается и сохраняется информация, которая может быть полезна при подготовке маршрутно-адресных таблиц или графиков обходов и замен в отсутствие достоверных сведений об интенсивности ожидаемого информационного обмена между корреспондентами.

В рамках формализма математического моделирования сетевых систем данная схема дает возможность проследить взаимосвязь между допустимыми значениями межузловых потоков и некоторой крайней точкой на границе множества потоков  $\mathcal{X}(d)$ . В предлагаемой модели с учетом направления передачи рассматриваются все возможные комбинации пар узлов-корреспондентов. В результате последовательного применения процедуры достигается полная загрузка всех ребер. При другом способе распределения потоков, например *всем поровну* [6], результирующий вектор  $\mathbf{z}^*(T)$  будет отличаться от полученного выше, хотя остаточная пропускная способность также будет равна нулю. Различным стратегиям, направленным на *максимально полную* загрузку ребер, могут соответствовать

разные предельно допустимые распределения межузловых потоков. На практике появляется возможность априорной многопараметрической оценки эффективности использования функциональных возможностей сети и применяемых диспетчерских правил маршрутизации.

## Литература

1. Малащенко Ю. Е., Назарова И. А. Аппроксимация множества достижимых потоков многопользовательской сети // Информатика и её применения, 2020. Т. 14. Вып. 3. С. 39–43.
2. Малащенко Ю. Е., Назарова И. А., Новикова Н. М. Один подход к анализу возможных структурных повреждений в многопродуктовых сетевых системах // ЖВМиМФ, 2019. Т. 59. № 9. С. 1626–1638.
3. Малащенко Ю. Е., Назарова И. А. Анализ критически опасных повреждений сети связи. II. Гарантированные оценки функциональных характеристик // Изв. РАН. ТИСУ, 2020. № 6. С. 103–112.
4. Малащенко Ю. Е., Назарова И. А., Новикова Н. М. Экспресс-анализ и агрегированное представление множества достижимых потоков многопродуктовой сетевой системы // Изв. РАН. ТИСУ, 2019. № 6. С. 63–72.
5. Йенсен П., Барнес Д. Потокосвое программирование / Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1984. 392 с. (Jensen P. A., Barnes J. W. Network flow programming. — New York, NY, USA: Wiley, 1980. 408 p.)
6. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. — М.: Мир, 1989. 544 с. (Bertsekas D. P., Gallager R. G. Data networks. — Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall, 1973. 556 p.)

*Поступила в редакцию 16.07.20*

---

---

## FLOWS DISTRIBUTION ESTIMATIONS AT MAXIMUM LOAD OF MULTIUSER NETWORK

*Yu. E. Malashenko and I. A. Nazarova*

Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 40 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** An iterative method of sequential distribution of a multiproduct flow which allows full using of the capacity of all network edges is considered. Within the framework of a formal mathematical notation of a network model, flow vectors are determined that can be simultaneously transmitted between all pairs of vertices. Joint distributions of flows are found sequentially, at which the maximum possible load of one of the edges is achieved. The achieved flow values for all corresponding node pairs are recorded and the remaining capacity is calculated. At the next stage, the problem of finding the joint distribution of the maximum possible flows is solved again, and the next edge, whose capacity is

exhausted, is identified. The procedure is repeated until the remaining capacity of all edges is equal to zero. The results of computational experiments on network models with different structural features are analyzed. The proposed procedure can be used for *a priori* analysis of functionality and for evaluating the efficiency of using network resources.

**Keywords:** feasible flows set; equal-shared flows distribution; network efficiency estimation

**DOI:** 10.14357/08696527200301

## References

1. Malashenko, Yu. E., and I. A. Nazarova. 2020. Approksimatsiya mnozhestva dostizhi-mykh potokov mnogopol'zovatel'skoy seti [Approximation of the multi-user network feasible flows set]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 14(3):39–43.
2. Malashenko, Yu. E., I. A. Nazarova, and N. M. Novikova. 2019. An approach to the analysis of possible structural damages in multicommodity network systems. *Comp. Math. Math. Phys.* 59(9):1562–1574.
3. Malashenko, Yu. E., and I. A. Nazarova. 2020. Analysis of critical damage to the communication network. II. Guaranteed functional performance evaluations. *J. Comput. Sys. Sc. Int.* 59(6):879–890.
4. Malashenko, Yu. E., I. A. Nazarova, and N. M. Novikova. 2019. Express analysis and aggregated representation of the set of reachable flows for a multicommodity network system. *J. Comput. Sys. Sc. Int.* 58(6):889–897.
5. Jensen, P. A., and J. W. Barnes. 1980. *Network flow programming*. New York, NY: Wiley. 408 p.
6. Bertsekas, D. P., and R. G. Gallager. 1973. *Data networks*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. 556 p.

*Received July 16, 2020*

## Contributors

**Malashenko Yuri E.** (b. 1946) — Doctor of Science in physics and mathematics, principal scientist, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 40 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; malash09@ccas.ru

**Nazarova Irina A.** (b. 1966) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics, scientist, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 40 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; irina-nazar@yandex.ru

## СТАЦИОНАРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХУЗЛОВОЙ МАРКОВСКОЙ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ОБОБЩЕННЫМ ОБНОВЛЕНИЕМ\*

*Л. А. Мейханаджян<sup>1</sup>, И. С. Зарядов<sup>2</sup>, Т. А. Милованова<sup>3</sup>*

**Аннотация:** Рассматривается функционирующая в случайной среде двухузловая система массового обслуживания (СМО), в каждом узле которой реализован механизм обобщенного обновления. Каждый узел представляет собой однолинейную систему обслуживания конечной емкости, с пуассоновским входящим потоком и временами обслуживания, имеющими распределение Эрланга с различными для каждого узла параметрами. Только обслуженные на первом узле заявки поступают в очередь второго узла; потерянные на первом, а также обслуженные и потерянные на втором узле заявки покидают систему. Заявка теряется, если очередь в узле, на который она поступает, полностью заполнена. Предложен матрично-аналитический метод расчета совместного стационарного распределения числа заявок в первом и втором узлах и фаз обслуживания. Представлены формулы для вычисления стационарных вероятностей потерь при прямом порядке обслуживания и обновления в каждом узле.

**Ключевые слова:** система массового обслуживания; цепочка приборов; обобщенное обновление; управление очередью

**DOI:** 10.14357/08696527200302

### 1 Введение

Интерес к СМО с различными вариантами механизма обновления связан с потенциальными возможностями применения последнего в качестве алгоритма активного управления очередями (см. подробнее в [1–8]). В отличие от предыдущих работ по данной тематике, в этой статье впервые рассматривается марковская двухузловая СМО конечной емкости, в каждом узле которой реализован механизм обобщенного обновления согласно [9]. Принятое предположение о распределении времени обслуживания позволяет отнести рассматриваемую систему к сетям массового обслуживания (СeМО), функционирующим в случайной среде. В литературе имеются много работ, в которых анализируются подобные

---

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект 19-07-00739).

<sup>1</sup> Финансовый университет при Правительстве РФ, lamejkhanaadzhyan@fa.ru

<sup>2</sup> Российский университет дружбы народов; Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, zaryadov-is@rudn.ru

<sup>3</sup> Российский университет дружбы народов, milovanova-ta@rudn.ru

СеМО (см., например, [10–12]). Основными результатами этой работы являются рекуррентные формулы, позволяющие рассчитывать основные стационарные характеристики системы. Наличие механизма обновления в узлах СеМО выводит рассматриваемую систему из класса разрешимых в мультипликативной форме. На основе матрично-аналитического метода здесь предложен алгоритм расчета совместного стационарного распределения числа заявок и фазы обслуживания в узлах. Отдельное внимание уделено стационарным показателям, связанным с потерями заявок. Отличительная особенность рассмотренной системы — зависимость вероятностей потерь принятой заявки от новых заявок, которые могут поступить за время ее пребывания в системе. Для нахождения этих характеристик предложен метод, позволяющий, при прямом порядке обслуживания и обновления в каждом узле, проводить подсчет рекуррентным образом.

Статья организована следующим образом. В разд. 2 дается подробное описание системы и вводятся основные обозначения. В разд. 3 внимание уделено нахождению совместного стационарного распределения. Метод расчета стационарных вероятностей потерь изложен в разд. 4. Результаты этого раздела также позволяют рассчитывать (в терминах преобразований) и стационарные распределения времен ожидания начала обслуживания и пребывания заявки в системе. В заключении кратко обсуждаются перспективы дальнейших исследований.

## 2 Описание системы

Рассмотрим систему, состоящую из двух расположенных друг за другом однолинейных узлов<sup>1</sup>. Узел  $i$ ,  $i = 1, 2$ , представляет собой СМО  $M/E_{n_i}/1/(N_i - 1)$  конечной емкости, в которую поступает (внешний по отношению к системе) пуассоновский поток интенсивности  $\lambda_i$ , а времена обслуживания заявок имеют распределение Эрланга порядка  $n_i$  с параметром  $\mu_i$ . Заявка теряется, если очередь в узле, на который она поступает, полностью заполнена.

В каждом узле реализован механизм обобщенного обновления, который работает следующим образом [9]. Обслуженная заявка, заставшая очередь в узле пустой, покидает его. Если же в момент окончания обслуживания заявки в узле  $i$  в его очереди оказалось  $n$ ,  $1 \leq n \leq N_i - 1$ , заявок, то

- с вероятностью  $q_0^{(i)} + Q_n^{(i)}$  обслуженная заявка покидает узел  $i$ , не оказывая на него никакого воздействия;
- с вероятностью  $q_j^{(i)}$ ,  $0 < j < n$ , обслуженная заявка удаляет из очереди узла  $i$  ровно  $j$  заявок, которые покидают систему, не оказывая на нее в дальнейшем никакого воздействия.

Здесь и далее  $\{q_n^{(1)}, 0 \leq n \leq N_1 - 1\}$  и  $\{q_n^{(2)}, 0 \leq n \leq N_2 - 1\}$  — вероятности обновления в узле 1 и узле 2 соответственно,  $Q_n^{(i)} = q_n^{(i)} + q_{n+1}^{(i)} + \dots + q_{N_i-1}^{(i)}$

<sup>1</sup>Для определенности будем считать, что заявки, обслуженные в узле 1, направляются в узел 2.

и  $Q_0^{(i)} = 1, i = 1, 2$ . Далее предполагается, что заявки обслуживаются и удаляются из очереди в порядке поступления.

Далее для сокращения записи будем пользоваться следующими обозначениями:

$\mathbf{1}_{(A)}$  — индикатор множества  $A$ ;

$\vec{e}_{ij}$  — вектор размера  $n_i$ , у которого все элементы равны нулю, кроме элемента на  $j$ -м месте;

$\mathbb{E}_{km}^{(i)}$  — квадратная матрица размера  $n_i$ , в которой  $(k, m)$ -й элемент равен единице, а остальные равны нулю;

$\vec{1}$  — единичный вектор;

$\mathbb{I}_n$  — единичная квадратная матрица размера  $n$ .

### 3 Совместное стационарное распределение

С учетом вероятностной интерпретации РН-распределения функционирование рассматриваемой системы может быть описано однородным марковским процессом  $X(t), t \geq 0$ , над пространством состояний

$$\begin{aligned} \mathcal{X} = \{ & (0, 0) \} \cup \{ (i, n, 0), 1 \leq i \leq N_1, 1 \leq n \leq n_1 \} \cup \\ & \cup \{ (0, j, m), 1 \leq j \leq N_2, 1 \leq m \leq n_2 \} \cup \\ & \cup \{ (i, n, j, m), 1 \leq i \leq N_1, 1 \leq n \leq n_1, 1 \leq j \leq N_2, 1 \leq m \leq n_2 \}. \end{aligned}$$

Здесь для некоторого момента времени  $t$ :

$X(t) = (0, 0)$ , если оба узла свободны от заявок;

$X(t) = (i, n, 0)$  ( $X(t) = (0, j, m)$ ), если в узле 2 (узле 1) нет заявок, а в узле 1 (узле 2) находится  $i$  ( $j$ ) заявок, причем число фаз до окончания (далее — просто фаза) обслуживания заявки на приборе равно  $n$  ( $m$ );

$X(t) = (i, n, j, m)$ , если в узлах 1 и 2 соответственно  $i$  и  $j$  заявок, а обслуживаемые заявки проходят фазы  $n$  и  $m$ .

Обозначим через  $p_x = \lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{P}(X(t) = x)$  стационарную вероятность состояния  $x \in \mathcal{X}$ . Из сделанных в предыдущем разделе предположений, дополненных условием, что  $\mu_1, \mu_2, n_1$  и  $n_2$  конечны, вытекает сообщаемость всех состояний процесса  $X(t)$  и, следовательно, существование стационарных вероятностей.



Введем векторы:

$$\begin{aligned} \vec{p}_0 &= (p_{0,0}, p_{0,1,1}, \dots, p_{0,1,n_2}, p_{0,2,1}, \dots, p_{0,2,n_2}, \dots, p_{0,N_2,1}, \dots, p_{0,N_2,n_2}); \\ \vec{p}_{i,n} &= (p_{i,n,0}, p_{i,n,1,1}, \dots, p_{i,n,1,n_2}, p_{i,n,2,1}, \dots \\ &\quad \dots, p_{i,n,2,n_2}, \dots, p_{i,n,N_2,1}, \dots, p_{i,n,N_2,n_2}), \quad 1 \leq i \leq N_1, \quad 1 \leq n \leq n_1; \\ \vec{p}_i &= (\vec{p}_{i,1}, \dots, \vec{p}_{i,n_1}), \quad 1 \leq i \leq N_1; \\ \vec{p} &= (\vec{p}_0, \vec{p}_1, \dots, \vec{p}_{N_1}). \end{aligned}$$

Стационарное распределение процесса  $X(t)$  является единственным решением системы уравнений равновесия (СУР), для выписывания которой воспользуемся следующим соображением. Следуя терминологии обобщенных процессов рождения и гибели, назовем уровнем процесса  $X(t)$  число заявок и фазу обслуживания в узле 1, а фазой процесса  $X(t)$  — число заявок и фазу обслуживания в узле 2. Тогда из описания системы следует, что если уровень процесса  $X(t)$  есть  $(i, n)$ , то возможны переходы либо с текущего уровня на уровень выше с сохранением фазы (матрицу интенсивностей таких переходов обозначим через  $\mathbb{L}_{(i,n),(k,l)}$ ), либо с текущего уровня на один из уровней ниже с сохранением фазы (матрицу интенсивностей таких переходов обозначим через  $\mathbb{N}_{(i,n),(k,l)}$ ), либо внутри текущего уровня со сменой фазы (матрицу интенсивностей таких переходов обозначим через  $\mathbb{M}_{(i,n),(i,n)}$ ). Поскольку на любом уровне процесса число возможных фаз равно  $1 + n_2 N_2$ , то матрицы  $\mathbb{L}_{(i,n),(k,l)}$ ,  $\mathbb{M}_{(i,n),(k,l)}$  и  $\mathbb{N}_{(i,n),(i,n)}$  являются квадратными размера  $1 + n_2 N_2$ . Кроме того, поскольку при поступлении заявки в узел фаза обслуживания не изменяется, а при уходе из узла фаза обслуживания может стать только  $n_1$  (при условии, что в узле остается хотя бы одна заявка), то

$$\begin{aligned} \mathbb{L}_{(i,n),(k,l)} &= 0 \text{ при } k \neq i + 1 \text{ или } l \neq n; \\ \mathbb{M}_{(i,n),(k,l)} &= 0 \text{ при } n \neq 1, \text{ или } l \neq n_1, \text{ или } i \geq k. \end{aligned}$$

Для того чтобы выписать вид оставшихся ненулевых матриц, рассмотрим узел  $i$ , функционирующий изолированно от системы. Процесс, описывающий общее число заявок в системе и фазу обслуживания, является марковским; обозначим матрицу интенсивностей переходов этого процесса через  $\mathbb{Q}^{(i)}$ . С помощью обычных рассуждений можно показать, что  $\mathbb{Q}^{(i)}$  представима в виде  $\mathbb{Q}^{(i)} = \hat{\mathbb{Q}}^{(i)} + \check{\mathbb{Q}}^{(i)}$ , где

$$\hat{\mathbb{Q}}^{(i)} = \begin{pmatrix} N_0^{(i)} & \mathbb{L}_0^{(i)} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & N_1^{(i)} & \mathbb{L}^{(i)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & N_2^{(i)} & \mathbb{L}^{(i)} & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & N_3^{(i)} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \mathbb{L}^{(i)} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & N_{N_i}^{(i)} \end{pmatrix}; \quad \check{\mathbb{Q}}^{(i)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ M_{10}^{(i)} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & M_{21}^{(i)} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & M_{31}^{(i)} & M_{32}^{(i)} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & M_{N_i,1}^{(i)} & M_{N_i,2}^{(i)} & M_{N_i,3}^{(i)} & \dots & 0 \end{pmatrix},$$

а матрицы  $\mathbb{L}_0^{(i)}$ ,  $\mathbb{N}_0^{(i)}$ ,  $\mathbb{L}^{(i)}$ ,  $\mathbb{M}_{kj}^{(i)}$  и  $\mathbb{N}_k^{(i)}$  рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned} \mathbb{L}^{(i)} &= \lambda_i \mathbb{I}_{n_i}; \quad \mathbb{L}_0^{(i)} = \lambda_i \vec{e}_{i,n_i}; \quad \mathbb{N}_0^{(i)} = -\mathbb{L}_0^{(i)} \vec{1}; \quad \mathbb{M}_{10}^{(i)} = \mu_i \vec{e}_{i,1}; \\ \mathbb{M}_{kj}^{(i)} &= \begin{cases} \mu_i (q_0^{(i)} + Q_j^{(i)}) \mathbb{E}_{1,n_i}^{(i)}, & \text{если } k = j + 1; \\ \mu_i q_{k-j-1}^{(i)} \mathbb{E}_{1,n_i}^{(i)} & \text{иначе,} \end{cases} \\ & \quad 1 \leq j \leq N_i - 1, \quad j + 1 \leq k \leq N_i; \\ \mathbb{N}_1^{(i)} &= -\mathbb{L}^{(i)} - \mu_i \mathbb{E}_{11}^{(i)} + \mathbb{M}^{(i)}, \quad \mathbb{M}^{(i)} = \mu_i \sum_{k=2}^{n_i} (\mathbb{E}_{k,k-1}^{(i)} - \mathbb{E}_{kk}^{(i)}); \\ \mathbb{N}_k^{(i)} &= -\mathbb{L}^{(i)} - \sum_{j=1}^{k-1} \mathbb{M}_{kj}^{(i)} \mathbb{E}_{n_i,1}^{(i)} + \mathbb{M}^{(i)}, \quad 2 \leq k \leq N_i - 1; \\ \mathbb{N}_{N_i}^{(i)} &= - \sum_{j=1}^{N_i-1} \mathbb{M}_{N_i,j}^{(i)} \mathbb{E}_{n_i,1}^{(i)} + \mathbb{M}^{(i)}. \end{aligned}$$

Теперь все готово для того, чтобы выписать вид ненулевых матриц  $\mathbb{L}_{(i,n),(k,l)}$ ,  $\mathbb{M}_{(i,n),(k,l)}$  и  $\mathbb{N}_{(i,n),(i,n)}$ . Пусть  $i = 0$ , т. е. узел 1 свободен от заявок. Тогда возможны переходы процесса  $X(t)$ , связанные со сменой фазы (описываемые матрицей  $\mathbb{N}_{0,0}$ ), и переход, переводящий процесс на один уровень выше (описываемый матрицей  $\mathbb{L}_{0,(1,n_1)}$ ). Так как при поступлении заявки в узел 1 фаза обслуживания становится  $n_1$ , а состояние узла 2 не изменяется, то  $\mathbb{L}_{0,(1,n_1)} = \lambda_1 \mathbb{I}_{1+n_2N_2}$ . Так как возможные переходы внутри уровня идентичны переходам в узле 2, работающем изолированно, то  $\mathbb{N}_{0,0} = \mathbb{Q}^{(2)} - \lambda_1 \mathbb{I}_{1+n_2N_2}$ . Пусть теперь в узле 1 находится одна заявка и фаза обслуживания равна 1. Тогда возможны переходы с текущего уровня на уровни 0 и 2 (описываемые матрицами  $\mathbb{M}_{(1,1),0}$  и  $\mathbb{L}_{(1,1),(2,1)}$  соответственно), а также внутри уровня (1, 1) (описываемые матрицей  $\mathbb{N}_{(1,1),(1,1)}$ ). Поскольку при переходе на уровень 0 число заявок в узле 2 увеличивается на единицу, только если в его очереди имеется хотя бы одно свободное место, то квадратная матрица  $\mathbb{M}_{(1,1),0}$  размера  $1 + n_2N_2$  имеет вид:

$$\mathbb{M}_{(1,1),0} = \begin{pmatrix} 0 & \mu_1 \vec{e}_{2,n_2} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \mu_1 \mathbb{I}_{n_2} & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \mu_1 \mathbb{I}_{n_2} \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & \mu_1 \mathbb{I}_{n_2} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Так как в узле 1 по предположению находится одна заявка, то при поступлении новой заявки фаза обслуживания в узле 1 и состояние узла 2 не изменятся. Поэтому  $\mathbb{L}_{(1,1),(2,1)} = \lambda_1 \mathbb{I}_{1+n_2N_2}$ . Возможные переходы внутри уровня идентичны

переходам в узле 2, работающем изолированно, и поэтому  $\mathbb{N}_{(1,1),(1,1)} = \mathbb{Q}^{(2)} - (\lambda_1 + \mu_1)\mathbb{I}_{1+n_2N_2}$ . Аналогичным образом находятся и все остальные матрицы; в общем случае формулы для их расчета имеют вид<sup>1</sup>:

$$\begin{aligned} \mathbb{N}_{0,0} &= \mathbb{Q}^{(2)} - \lambda_1\mathbb{I}_{1+n_2N_2}, \quad \mathbb{L}_{0,(1,n_1)} = \mathbb{L}_{(i,n),(i+1,n)} = \lambda_1\mathbb{I}_{1+n_2N_2}; \\ \mathbb{M}_{(i,1),(j,n_1)} &= \begin{cases} (q_0^{(1)} + Q_j^{(1)})\mathbb{M}_{(1,1),0}, & \text{если } i = j + 1; \\ q_{i-j-1}^{(1)}\mathbb{M}_{(1,1),0} & \text{иначе,} \end{cases} \\ & \quad 1 \leq j \leq N_1 - 1, j + 1 \leq i \leq N_1; \\ \mathbb{N}_{(1,n),(1,n)} &= \mathbb{Q}^{(2)} - (\lambda_1 + \mu_1)\mathbb{I}_{1+n_2N_2}, \quad 1 \leq n \leq n_1; \\ \mathbb{N}_{(i,n+1),(i,n)} &= \mu_1\mathbb{I}_{1+n_2N_2}, \quad 1 \leq n \leq n_1 - 1, 1 \leq i \leq N_1; \\ \mathbb{N}_{(i,n),(i,n)} &= \mathbb{Q}^{(2)} - \lambda_1\mathbb{I}_{1+n_2N_2} - \sum_{j=1}^{i-1} \text{diag} \left( \mathbb{M}_{(i,n),(j,n_1)} \vec{1} \right), \\ & \quad 1 \leq n \leq n_1, 2 \leq i \leq N_1. \end{aligned}$$

Не выписывая матрицу  $\mathbb{Q}$  интенсивностей переходов процесса  $X(t)$ , сразу запишем СУР<sup>2</sup>:

$$\vec{p}_0\mathbb{N}_{0,0} + \vec{p}_{1,1}\mathbb{M}_{(1,1),0} = \vec{0}; \quad (2)$$

$$\vec{p}_{1,n}\mathbb{N}_{(1,n),(1,n)} + \vec{p}_{1,n+1}\mathbb{N}_{(1,n+1),(1,n)} = \vec{0}, \quad 1 \leq n \leq n_1 - 1; \quad (3)$$

$$\vec{p}_0\mathbb{L}_{0,(1,n_1)} + \vec{p}_{1,n_1}\mathbb{N}_{(1,n_1),(1,n_1)} + \sum_{i=2}^{N_1} \vec{p}_{i,1}\mathbb{M}_{(i,1),(1,n_1)} = \vec{0}; \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \vec{p}_{i-1,n}\mathbb{L}_{(i-1,n),(i,n)} + \vec{p}_{i,n}\mathbb{N}_{(i,n),(i,n)} + \vec{p}_{i,n+1}\mathbb{N}_{(i,n+1),(i,n)} &= \vec{0}, \\ 2 \leq i \leq N_1, 1 \leq n \leq n_1 - 1; & \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \vec{p}_{i-1,n_1}\mathbb{L}_{(i-1,n_1),(i,n_1)} + \vec{p}_{i,n_1}\mathbb{N}_{(i,n_1),(i,n_1)} + \sum_{j=i+1}^{N_1} \vec{p}_{j,1}\mathbb{M}_{(j,1),(i,n_1)} &= \vec{0}, \\ 2 \leq i \leq N_1 - 1; & \quad (6) \end{aligned}$$

$$\vec{p}_{N_1-1,n_1}\mathbb{L}_{(N_1-1,n_1),(N_1,n_1)} + \vec{p}_{N_1,n_1}\mathbb{N}_{(N_1,n_1),(N_1,n_1)} = \vec{0} \quad (7)$$

<sup>1</sup>Здесь, как обычно,  $\text{diag}(\vec{x})$  обозначает диагональную матрицу, составленную из элементов вектора  $\vec{x}$ .

<sup>2</sup>Для сокращения записи здесь и далее используется соглашение  $\sum_{i=0}^{-1} = 0$ .

с условием нормировки

$$\vec{p}_0 \vec{1} + \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{n=1}^{n_1} \vec{p}_{i,n} \vec{1} = 1.$$

Структура матрицы  $\mathbb{Q}$  позволяет использовать для решения СУР один из множества известных методов расчета стационарного распределения очередей в СМО конечной емкости с распределениями фазового типа и матрицей интенсивностей типа  $G/M/1$  (см., например, [12, 13]). Однако матрица  $\mathbb{N}_{0,0}$  и матрицы  $\mathbb{N}_{(i,n),(i,n)}$  при всех  $i$  и  $n$  обладают свойством строгого диагонального преобладания и поэтому являются невырожденными<sup>1</sup>. Это обстоятельство позволяет упростить решаемую систему уравнений (2)–(7), понизив ее порядок с  $(N_1(n_1 - 1) + 1)(1 + n_2 N_2)$  до  $N_1(1 + n_2 N_2)$ . Вводя обозначение  $\mathbb{H}_{i,n} = \mathbb{N}_{(i,n+1),(i,n)} [\mathbb{N}_{(i,n),(i,n)}]^{-1}$ , из (2), (7) и (3) находим:

$$\vec{p}_0 = -\vec{p}_{1,1} \mathbb{M}_{(1,1),0} [\mathbb{N}_{0,0}]^{-1}, \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \vec{p}_{1,n} &= -\vec{p}_{1,n+1} \mathbb{N}_{(1,n+1),(1,n)} [\mathbb{N}_{(1,n),(1,n)}]^{-1} = (-1)^{n_1-n} \vec{p}_{1,n_1} \mathbb{H}_{1,n_1-1} \dots \mathbb{H}_{1,n} = \\ &= \vec{p}_{1,n_1} \prod_{j=n_1-1}^n \mathbb{H}_{1,j} (-1)^{n_1-n}, \quad 1 \leq n \leq n_1 - 1. \end{aligned} \quad (9)$$

Вводя еще одно обозначение  $\mathbb{K}_{i,n} = \mathbb{L}_{(i-1,n),(i,n)} [\mathbb{N}_{(i,n),(i,n)}]^{-1}$ , из (5) получаем путем последовательных итераций соотношение:

$$\begin{aligned} \vec{p}_{i,n} &= -\vec{p}_{i-1,n} \mathbb{K}_{i,n} - \vec{p}_{i,n+1} \mathbb{H}_{i,n} = \vec{p}_{i,n_1} \prod_{j=n_1-1}^n \mathbb{H}_{i,j} (-1)^{n_1-n} - \vec{p}_{i-1,n} \mathbb{K}_{i,n} - \\ &- \sum_{j=n+1}^{n_1-1} \vec{p}_{i-1,j} \mathbb{K}_{i,j} \prod_{m=j-1}^n \mathbb{H}_{i,m} (-1)^{n_1-j}, \quad 1 \leq n \leq n_1 - 1. \end{aligned} \quad (10)$$

Таким образом, вместо исходной системы уравнений (2)–(7) достаточно рассмотреть систему уравнений (4), (6) и (7), в которой вместо векторов вероятностей  $\vec{p}_0$  и  $\vec{p}_{i,1}$  подставлены их представления из (8)–(10). Для решения системы (4), (6) и (7) удобно использовать метод исключения состояний (см.,

<sup>1</sup>Невырожденность указанных матриц можно обосновать и по-другому (см., например, [14]). Матрица  $\mathbb{Q}^{(2)}$  является матрицей интенсивностей переходов однородного марковского процесса и, следовательно, полуустойчива. Собственные числа матрицы  $\mathbb{N}_{(i,n),(i,n)}$  являются суммой собственных чисел полуустойчивой матрицы  $\mathbb{Q}^{(2)}$  и устойчивой матрицы  $-\lambda_1 \mathbb{I}_{1+n_2 N_2} - \sum_{j=1}^{i-1} \text{diag}(\mathbb{M}_{(i,n),(j,n_1)} \vec{1})$ . Поэтому матрица  $\mathbb{N}_{(i,n),(i,n)}$  устойчива и, в частности, невырождена. Эти же рассуждения применимы и для матрицы  $\mathbb{N}_{0,0}$ .

например, [15, разд. 2] и [13, 16]). После получения решения необходимо посчитать оставшиеся неизвестными вероятности по формулам (8)–(10) и осуществить перенормировку.

Зная совместное стационарное распределение, можно уже определить некоторые стационарные вероятностные характеристики, связанные с числом заявок в узлах системы. В частности, средние числа  $N^{(1)}$  и  $N^{(2)}$  заявок соответственно в узле 1 и узле 2 равны:

$$N^{(1)} = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{n=1}^{n_1} i \vec{p}_{i,n} \vec{1}; \quad N^{(2)} = \sum_{j=1}^{N_2} \sum_{m=1}^{n_2} j p_{0,j,m} + \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} \sum_{n=1}^{n_1} \sum_{m=1}^{n_2} j p_{i,n,j,m}.$$

Сложнее обстоит дело со стационарными характеристиками, связанными с потерями заявок, нахождению которых посвящен следующий раздел.

#### 4 Стационарные вероятности потерь

Обозначим через  $\pi^{(i)}$  стационарную вероятность того, что принятая в узел  $i$  заявка  $i$ -го потока будет потеряна. Нахождение  $\pi^{(i)}$  связано с определенными трудностями, которые вызваны двумя обстоятельствами. Первое — из-за использования в узлах механизма обновления принятые в узел заявки могут покидать очереди необслуженными. Второе — на вероятность потери выделенной заявки влияет не только число заявок в узлах, которые она застала при поступлении, но также и возможные последующие поступления до момента, когда выделенная заявка заняла прибор узла 2.

Заметим, что принятая в узел 1 заявка может быть потеряна либо во время ожидания начала обслуживания в узле 1, либо при переходе в узел 2, либо пребывая в очереди узла 2. Поэтому вместо  $\pi^{(1)}$  удобнее искать дополнительную к ней вероятность того, что принятая в узел 1 заявка будет обслужена в узле 1 и в узле 2.

Всюду в дальнейшем для сокращения записи будем говорить, что если в узле  $i$  находится  $n$  заявок и фаза обслуживания равна  $m$  и  $l = (n - 1)n_i + m$ , то он находится в состоянии  $l$ . Очевидно, что  $1 \leq l \leq 1 + n_i N_i$ . Определим следующие матрицы:  $\mathbb{P}_n(j, i, m)$ ,  $j \geq 0$ ,  $i \geq 1$ ,  $0 \leq i + j \leq N_1$ ,  $1 \leq m \leq n_1$ ,  $0 \leq n \leq N_1 - 1$ , — матрица, элемент  $[\mathbb{P}_n(j, i, m)]_{kl}$ ,  $1 \leq k, l \leq 1 + n_2 N_2$ , которой представляет собой условную вероятность того, что выделенная заявка будет обслужена в узле 1, попадет в очередь узла 2 и в момент перехода в узел 2 она окажется в состоянии  $l$ , в узле 1 останется  $n$  других заявок, при условии, что перед<sup>1</sup> выделенной заявкой находится  $i - 1$  других заявок, фаза обслуживания заявки на приборе равна  $m$ , за выделенной заявкой в очереди находится  $j$  заявок, а узел 2 находится в состоянии  $k$ .

<sup>1</sup>Случай  $i = 1$  означает, что выделенная заявка находится на приборе.

Матрицы  $\mathbb{P}_n(j, i, m)$  удовлетворяют рекуррентным соотношениям, для выписывания которых необходимо предварительно найти матрицу вероятностей переходов процесса  $X(t)$ . Для этого воспользуемся вложенной цепью Маркова, порожденной моментами изменений состояний узла 1 или узла 2. Предположим, что процесс  $X(t)$  находится на уровне  $(i, n)$ , т. е. в узле 1 находятся  $i$ ,  $1 \leq i \leq N_1$ , заявок и фаза обслуживания равна  $n$ . Матрица  $\mathbb{N}_{(i,n),(i,n)}^*$  переходных вероятностей вложенной цепи Маркова, связанных с поступлением новой заявки и окончанием обслуживания в узле 2, состоит из элементов:

$$[\mathbb{N}_{(i,n),(i,n)}^*]_{kl} = \begin{cases} 0, & \text{если } k = l; \\ \frac{[\mathbb{N}_{(i,n),(i,n)}]_{kl}}{-[\mathbb{N}_{(i,n),(i,n)}]_{kk}} & \text{иначе,} \end{cases} \quad 1 \leq k, l \leq 1 + n_2 N_2.$$

Элементы матриц  $\mathbb{N}_{(i,n),(i,n-1)}^*$  и  $\mathbb{L}_{(i+1,n),(i,n)}^*$  вероятностей переходов вложенной цепи Маркова, связанных с изменением фазы обслуживания и поступлением новой заявки в узел 1, рассчитываются по формулам:

$$[\mathbb{N}_{(i,n),(i,n-1)}^*]_{kl} = \frac{[\mathbb{N}_{(i,n),(i,n-1)}]_{kl}}{-[\mathbb{N}_{(i,n),(i,n-1)}]_{kk}}; \quad [\mathbb{L}_{(i+1,n),(i,n)}^*]_{kl} = \frac{[\mathbb{L}_{(i+1,n),(i,n)}]_{kl}}{-[\mathbb{N}_{(i,n),(i,n)}]_{kk}},$$

$$1 \leq k, l \leq 1 + n_2 N_2.$$

Наконец, при  $n = 1$  необходимо дополнительно рассчитать матрицы  $\mathbb{M}_{(i,1),(j,n_1)}^*$ ,  $1 \leq j \leq i - 1$ , переходных вероятностей вложенной цепи Маркова, связанные с окончанием обслуживания заявки в узле 1. Их элементы имеют вид:

$$[\mathbb{M}_{(i,1),(j,n_1)}^*]_{kl} = \frac{[\mathbb{M}_{(i,1),(j,n_1)}]_{kl}}{-[\mathbb{N}_{(i,1),(i,1)}]_{kk}}, \quad 1 \leq j \leq i - 1, \quad 1 \leq k, l \leq 1 + n_2 N_2. \quad (11)$$

Аналогичным образом определяются и переходные матрицы  $\mathbb{N}_{(0,0)}^*$ ,  $\mathbb{L}_{0,(1,n_1)}^*$  и  $\mathbb{M}_{(1,1),0}^*$ .

Заметим, что выделенная заявка в момент окончания обслуживания в узле 1 может застать очередь в узле 2 полностью заполненной и, значит, будет потеряна. Учитывая (1), вероятности таких переходов задаются элементами  $[\mathbb{M}_{(i,1),(j,n_1)}^*]_{kl}$  и  $[\mathbb{M}_{(1,1),0}^*]_{kl}$  при  $N_2(n_2 - 1) + 1 \leq k, l \leq 1 + n_2 N_2$ , и, значит, при расчете вероятности  $1 - \pi^{(1)}$  необходимо положить для  $1 \leq j \leq N_1 - 1$ ,  $j + 1 \leq i \leq N_1$ :

$$[\mathbb{M}_{(1,1),0}^*]_{kl} = [\mathbb{M}_{(i,1),(j,n_1)}^*]_{kl} = 0; \quad N_2(n_2 - 1) + 1 \leq k, l \leq 1 + n_2 N_2. \quad (12)$$

При расчете же стационарной вероятности того, что принятая в узел 1 заявка не будет потеряна при ожидании в узле 1, но будет потеряна при поступлении в узел 2, необходимо положить для  $1 \leq j \leq N_1 - 1$ ,  $j + 1 \leq i \leq N_1$ :

$$\left[ \mathbb{M}_{(1,1),0}^* \right]_{kl} = \left[ \mathbb{M}_{(i,1),(j,n_1)}^* \right]_{kl} = 0, \quad 1 \leq k, l \leq N_2 (n_2 - 1).$$

Воспользовавшись теперь формулой полной вероятности, получаем следующие рекуррентные соотношения для расчета матриц  $\mathbb{P}_n(j, i, m)$ :

$$\mathbb{P}_n(j, i, m) = \mathbb{N}_{(i+j,m),(i+j,m-1)}^* \mathbb{P}_n(j, i, m - 1) + \mathbb{N}_{(i+j,m),(i+j,m)}^* \mathbb{P}_n(j, i, m) + \mathbf{1}_{(j < n)} \mathbb{L}_{(i+j,m),(i+j+1,m)}^* \mathbb{P}_n(j + 1, i, m), \quad 1 \leq i \leq N_1, \quad 0 \leq j \leq n, \quad 2 \leq m \leq n_1;$$

$$\begin{aligned} \mathbb{P}_n(j, i, 1) &= \\ &= \sum_{k=j+1}^{i+j-1} \mathbb{M}_{(i+j,1),(k,n_1)}^* \mathbb{P}_n(j, i - (i + j - k), n_1) + \mathbb{N}_{(i+j,1),(i+j,1)}^* \mathbb{P}_n(j, i, 1) + \\ &\quad + \mathbf{1}_{(j < n)} \mathbb{L}_{(i+j,1),(i+j+1,1)}^* \mathbb{P}_n(j + 1, i, 1), \quad 2 \leq i \leq N_1, \quad 0 \leq j \leq n; \end{aligned}$$

$$\mathbb{P}_n(j, 1, 1) = \begin{cases} \mathbf{1}_{(j=n)} \mathbb{M}_{(j+1,1),(j,n_1)}^* + \mathbb{N}_{(j+1,1),(j+1,1)}^* \mathbb{P}_n(j, 1, 1) + \\ \quad + \mathbf{1}_{(j < n)} \mathbb{L}_{(i+j,1),(i+j+1,1)}^* \mathbb{P}_n(j + 1, 1, 1), & \text{если } 0 \leq j \leq n, n > 0; \\ \mathbb{M}_{(1,1),0}^* + \mathbb{N}_{(1,1),(1,1)}^* \mathbb{P}_0(0, 1, 1), & \text{если } j = n = 0; \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$$

Напомним, что  $\mathbf{1}_{(A)}$  обозначает индикатор множества  $A$ . Заметим, что матрицы  $\mathbb{I} - \mathbb{N}_{(i,m),(i,m)}^*$  при любых  $i$  и  $m$  обладают свойством строгого диагонального преобладания и поэтому являются невырожденными. Таким образом, матрицы  $\mathbb{P}_0(0, i, m)$  рассчитываются последовательно, начиная с  $\mathbb{P}_0(0, 1, 1)$ , по формулам:

$$\mathbb{P}_0(0, i, m) = \left( \mathbb{I}_{1+n_2N_2} - \mathbb{N}_{(i,m),(i,m)}^* \right)^{-1} \mathbb{N}_{(i,m),(i,m-1)}^* \mathbb{P}_0(0, i, m - 1), \quad 1 \leq i \leq N_1, \quad 2 \leq m \leq n_1; \quad (13)$$

$$\mathbb{P}_0(0, i, 1) = \left( \mathbb{I}_{1+n_2N_2} - \mathbb{N}_{(i,1),(i,1)}^* \right)^{-1} \sum_{k=1}^{i-1} \mathbb{M}_{(i,1),(k,n_1)}^* \mathbb{P}_0(0, k, n_1), \quad 2 \leq i \leq N_1; \quad (14)$$

$$\mathbb{P}_0(0, 1, 1) = \left( \mathbb{I}_{1+n_2N_2} - \mathbb{N}_{(1,1),(1,1)}^* \right)^{-1} \mathbb{M}_{(1,1),0}^*. \quad (15)$$

Аналогичным образом могут быть преобразованы соотношения для расчета матриц  $\mathbb{P}_n(j, i, m)$  при  $1 \leq n \leq N_1 - 1$ . Имеем:

$$\begin{aligned} \mathbb{P}_n(j, i, m) &= \\ &= \left( \mathbb{I}_{1+n_2N_2} - \mathbb{N}_{(i+j,m),(i+j,m)}^* \right)^{-1} \left( \mathbb{N}_{(i+j,m),(i+j,m-1)}^* \mathbb{P}_n(j, i, m-1) + \right. \\ &\quad \left. + \mathbf{1}_{(j < n)} \mathbb{L}_{(i+j,m),(i+j+1,m)}^* \mathbb{P}_n(j+1, i, m) \right), \\ &\quad 1 \leq i \leq N_1, 0 \leq j \leq n, 2 \leq m \leq n_1; \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \mathbb{P}_n(j, i, 1) &= \\ &= \left( \mathbb{I}_{1+n_2N_2} - \mathbb{N}_{(i+j,1),(i+j,1)}^* \right)^{-1} \left( \sum_{k=j+1}^{i+j-1} \mathbb{M}_{(i+j,1),(k,n_1)}^* \mathbb{P}_n(j, k-j, n_1) + \right. \\ &\quad \left. + \mathbf{1}_{(j < n)} \mathbb{L}_{(i+j,1),(i+j+1,1)}^* \mathbb{P}_n(j+1, i, 1) \right), \quad 2 \leq i \leq N_1, 0 \leq j \leq n, \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \mathbb{P}_n(j, 1, 1) &= \left( \mathbb{I}_{1+n_2N_2} - \mathbb{N}_{(j+1,1),(j+1,1)}^* \right)^{-1} \left( \mathbf{1}_{(j=n)} \mathbb{M}_{(j+1,1),(j,n_1)}^* + \right. \\ &\quad \left. + \mathbf{1}_{(j < n)} \mathbb{L}_{(i+j,1),(i+j+1,1)}^* \mathbb{P}_n(j+1, i, 1) \right), \quad 0 \leq j \leq n. \end{aligned} \quad (18)$$

Псевдокод общего алгоритма расчета матриц  $\mathbb{P}_n(j, i, m)$ :

---

```

for  $1 \leq i \leq N_1$ 
    Рассчитать  $\mathbb{P}_0(0, i, 1)$  по (14) и (15)
    for  $2 \leq m \leq n_1$ 
        Рассчитать  $\mathbb{P}_0(0, i, m)$  по (13)
    end for
end for
for  $1 \leq n \leq N_1 - 1$ 
    for  $1 \leq i \leq N_1$ 
         $j = n$ 
        while  $j \geq 0$ 
            Рассчитать  $\mathbb{P}_n(j, i, 1)$  по (17) и (18)
            for  $2 \leq m \leq n_1$ 
                Рассчитать  $\mathbb{P}_n(j, i, m)$  по (16)
            end for
             $j = j - 1$ 
        end while
    end for
end for

```

---



Рассчитав  $\mathbb{P}_n(j, i, m)$  при условии (11), можно найти вероятность того, что заявка первого потока не будет потеряна в узле 1 (ни при поступлении, ни при ожидании обслуживания) и попадет в очередь узла 2:

$$\sum_{n=0}^{N_1-1} \vec{p}_0 \mathbb{P}_n(0, 1, n_1) \vec{1} + \sum_{m=1}^{N_1-1} \sum_{j=1}^{n_1} \sum_{n=0}^{N_1-1} \vec{p}_{mj} \mathbb{P}_n(0, m, j) \vec{1}. \quad (19)$$

По этой же формуле, но с учетом замены условия (11) на (12), рассчитывается и вероятность того, что заявка первого потока не будет потеряна в узле 1, но будет потеряна на входе в узел 2. В сумме эти две вероятности дают вероятность  $1 - \pi_1^{(1)}$  того, что заявка первого потока не будет потеряна в узле 1.

Введем векторы  $\vec{p}_{i,n}^*$ ,  $1 \leq i \leq N_1 - 1$ ,  $1 \leq n \leq n_1$ , и  $\vec{p}_0^*$ . Элемент  $[\vec{p}_{i,n}^*]_l$ ,  $1 \leq l \leq 1 + n_2 N_2$ , есть безусловная вероятность того, что не потерянная в узле 1 заявка поступит в очередь узла 2 и в момент ее перехода в узел 2 его состояние будет  $l$ , а в узле 1 будет находиться  $i$  других заявок и фаза обслуживания  $n$  (при  $i \geq 1$ ); аналогично определяется и элемент  $[\vec{p}_0^*]_l$ . Имеем:

$$\begin{aligned} \vec{p}_0^* &= \vec{p}_0 \mathbb{P}_0(0, 1, n_1) + \sum_{m=1}^{N_1-1} \sum_{j=1}^{n_1} \vec{p}_{ij} \mathbb{P}_0(0, m + 1, j); \\ \vec{p}_{i,n}^* &= \begin{cases} \vec{p}_0 \mathbb{P}_i(0, 1, n_1) + \sum_{m=1}^{N_1-1} \sum_{j=1}^{n_1} \vec{p}_{mj} \mathbb{P}_i(0, m + 1, j), & n = n_1; \\ \vec{0}, & 1 \leq n \leq n_1 - 1, \\ & 1 \leq i \leq N_1 - 1; \end{cases} \\ \vec{p}_{N_1,n}^* &= \vec{0}, \quad 1 \leq n \leq n_1. \end{aligned}$$

Заявка первого потока, обслуживание которой только что закончилось в узле 1, поступает в узел 2 и может застать в нем не более  $N_2$  заявок, и при этом каждому состоянию узла 2 соответствует одно из  $1 + n_1 N_1$  состояний узла 1. Введем векторы  $\vec{p}_{j,m}^+$ ,  $1 \leq j \leq N_2$ ,  $1 \leq m \leq n_2$ , и  $\vec{p}_0^+$ . Элемент  $[\vec{p}_{j,m}^+]_l$ ,  $1 \leq l \leq 1 + n_2 N_2$ , есть безусловная вероятность того, что не потерянная в узле 1 заявка поступит в очередь узла 2 и в момент ее перехода в узел 2 будет  $j$  других заявок и фаза обслуживания  $m$  (при  $j \geq 1$ ), а узел 1 будет находиться в состоянии  $l$ ,  $1 \leq l \leq 1 + n_1 N_1$ ; аналогично определяется и элемент  $[\vec{p}_0^+]_l$ . Искомые векторы могут быть составлены из элементов векторов  $\vec{p}_{i,n}^*$ , найденных выше, и имеют вид:

$$\begin{aligned} \vec{p}_0^+ &= ([\vec{p}_0^*]_1, [\vec{p}_{1,1}^*]_1, \dots, [\vec{p}_{1,n_1}^*]_1, \dots, [\vec{p}_{N_1-1,1}^*]_1, \dots \\ &\quad \dots, [\vec{p}_{N_1-1,n_1}^*]_1, [\vec{p}_{N_1,1}^*]_1, \dots, [\vec{p}_{N_1,n_1}^*]_1); \end{aligned}$$

$$\vec{p}_{j,m}^+ = ([\vec{p}_0^*]_{1+m+(j-1)n_2}, [\vec{p}_{1,1}^*]_{1+m+(j-1)n_2}, \dots, [\vec{p}_{1,n_1}^*]_{1+m+(j-1)n_2}, \dots \\ \dots, [\vec{p}_{N_1-1,1}^*]_{1+m+(j-1)n_2}, \dots, [\vec{p}_{N_1-1,n_1}^*]_{1+m+(j-1)n_2}, \\ [\vec{p}_{N_1,1}^*]_{1+m+(j-1)n_2}, \dots, [\vec{p}_{N_1,n_1}^*]_{1+m+(j-1)n_2}).$$

Для нахождения вероятности того, что принятая в узел 2 заявка не будет потеряна, необходимо действовать таким же образом, как и при нахождении вероятности потери принятой заявки в узле 1 (см. (19)). Другими словами, необходимо найти матрицы  $\tilde{\mathbb{P}}_n(j, i, m)$ ,  $j \geq 0$ ,  $i \geq 1$ ,  $0 \leq i + j \leq N_2$ ,  $1 \leq m \leq n_2$ ,  $0 \leq n \leq N_2 - 1$ , элемент  $[\tilde{\mathbb{P}}_n(j, i, m)]_{kl}$ ,  $1 \leq k, l \leq 1 + n_1 N_1$ , которых представляет собой условную вероятность того, что принятая в узел 2 заявка будет обслужена и в момент окончания обслуживания узел 1 окажется в состоянии  $l$ , в узле 2 останется  $n$  других заявок, при условии что перед выделенной заявкой в узле 2 находится  $i - 1$  других заявок, фаза обслуживания заявки на приборе равна  $m$ , за выделенной заявкой в очереди находится  $j$  заявок, а узел 1 находится в состоянии  $k$ .

Поскольку обслуженные заявки в узле 1 поступают в узел 2, то для расчета матриц  $\tilde{\mathbb{P}}_n(j, i, m)$  необходимо предварительно изменить матрицы интенсивностей переходов. Новые матрицы интенсивностей (снабженные сверху символом тильда) имеют вид:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbb{N}}_{0,0} &= \hat{\mathbb{Q}}^{(1)} - \lambda_2 \mathbb{I}_{n_1 N_1 + 1} - \text{diag} \left( \check{\mathbb{Q}}^{(1)} \vec{\mathbb{I}} \right); \\ \tilde{\mathbb{L}}_{(i,n),(j,m)} &= \lambda_2 \mathbb{I}_{n_1 N_1 + 1} + \check{\mathbb{Q}}^{(1)}; \\ \tilde{\mathbb{M}}_{(1,1),0} &= \mu_2 \mathbb{I}_{n_1 N_1 + 1}; \\ \tilde{\mathbb{M}}_{(i,1),(j,n_1)} &= \begin{cases} (q_0^{(2)} + Q_j^{(2)}) \tilde{\mathbb{M}}_{(1,1),0}, & \text{если } i = j + 1; \\ q_{i-j-1}^{(2)} \tilde{\mathbb{M}}_{(1,1),0} & \text{иначе,} \end{cases} \\ & \qquad \qquad \qquad 1 \leq j \leq N_2 - 1, \quad j + 1 \leq i \leq N_2; \\ \tilde{\mathbb{N}}_{(1,n),(1,n)} &= \hat{\mathbb{Q}}^{(1)} - (\lambda_2 + \mu_2) \mathbb{I}_{n_1 N_1 + 1} - \text{diag} \left( \check{\mathbb{Q}}^{(1)} \vec{\mathbb{I}} \right), \quad 1 \leq n \leq n_2; \\ \tilde{\mathbb{N}}_{(i,n+1),(i,n)} &= \mu_2 \mathbb{I}_{n_1 N_1 + 1}, \quad 1 \leq n \leq n_2 - 1, \quad 1 \leq i \leq N_2; \\ \tilde{\mathbb{N}}_{(i,1),(i,1)} &= \hat{\mathbb{Q}}^{(1)} - \lambda_2 \mathbb{I}_{n_1 N_1 + 1} - \text{diag} \left( \check{\mathbb{Q}}^{(1)} \vec{\mathbb{I}} \right) - \sum_{j=1}^{i-1} \text{diag} \left( \tilde{\mathbb{M}}_{(i,1),(j,n_1)} \vec{\mathbb{I}} \right), \\ & \qquad \qquad \qquad 2 \leq i \leq N_2. \end{aligned}$$

Переходя от этих новых матриц интенсивностей к матрицам вероятностей по аналогии с тем, как это было сделано выше, и воспользовавшись псевдокодом алгоритма (см. с. 24), заменяя в нем  $n_1$  и  $N_1$  соответственно на  $n_2$  и  $N_2$ ,

рассчитываются матрицы  $\tilde{\mathbb{P}}_n(j, i, m)$ . Замечая, что заявка первого потока, поступившая в узел 2 и заставшая его свободным от заявок (что происходит с вероятностью  $\vec{p}_0^+ \vec{1}$ ) не будет потеряна, получаем по формуле полной вероятности окончательное выражение для вероятности потери заявки первого потока:

$$1 - \pi^{(1)} = \vec{p}_0^+ \vec{1} + \sum_{j=1}^{N_2-1} \sum_{m=1}^{n_2} \sum_{n=0}^{N_2-1} \vec{p}_{j,m}^+ \tilde{\mathbb{P}}_n(0, j+1, m) \vec{1}. \quad (20)$$

Эта же формула может быть использована для нахождения вероятности потери заявки второго потока. Однако в этом случае векторы  $\vec{p}_0^+$  и  $\vec{p}_{j,m}^+$  необходимо изменить, поскольку заявка второго потока поступает и обслуживается только в узле 2. Так как по свойству PASTA (Poisson Arrival See Time Average) пуассоновского потока в стационарном режиме поступающая заявка застаёт систему в состоянии  $x \in \mathcal{X}$  с вероятностью  $p_x$ , то при использовании (20) для расчета  $\pi^{(2)}$  векторы  $\vec{p}_0^+$  и  $\vec{p}_{j,m}^+$  необходимо задать следующим образом:

$$\begin{aligned} \vec{p}_0^+ &= (p_{0,0}, p_{1,1,0}, \dots, p_{1,n_1,0}, p_{2,1,0}, \dots, p_{2,n_1,0}, \dots, p_{N_1,1,0}, \dots, p_{N_1,n_1,0}); \\ \vec{p}_{j,m}^+ &= (p_{0,j,m}, p_{1,j,m}, \dots, p_{1,n_1,j,m}, p_{2,1,j,m}, \dots, p_{2,n_1,j,m}, \dots \\ &\quad \dots, p_{N_1,1,j,m}, \dots, p_{N_1,n_1,j,m}), \quad 1 \leq j \leq N_2, \quad 1 \leq m \leq n_2. \end{aligned}$$

## 5 Заключение

Заметим, что предложенные рассуждения для составления СУР, оказавшиеся удобными для двухузловой системы, обобщаются естественным образом и на  $n$ -узловые системы. Но с добавлением каждого узла проблема размерности встает все острее. По-видимому, для  $n$ -узловых систем ( $n \geq 3$ ) такое прямое обобщение не может привести к пригодным для расчетов результатам. Дальнейшие исследования могут быть направлены на поиск и разработку более эффективных методов расчета стационарных показателей качества СМО с обобщенным обновлением, что может потребовать введения дополнительных условий на режим функционирования узлов (например, режим высокой загрузки).

Скажем несколько слов о расчете временных характеристик поступающих в систему заявок. В связи с наличием в узлах механизма обновления для расчета распределения времени пребывания заявки в системе стандартные методы расчета времени до поглощения в цепи Маркова с конечным числом состояний малоприспособлены. В принципе, воспользовавшись результатами разд. 4, эти распределения могут быть найдены в терминах преобразования Лапласа–Стилтьеса, так как времена между переходами вложенной цепи Маркова имеют экспоненциальное распределение (хоть и с разными параметрами). Справедливости ради необходимо отметить, что из (13)–(18) видно, что даже для двухузловой системы

этот подход представляет собой скорее теоретический интерес. Но некоторым выходом из положения служит формула Литтла. Наконец, отметим, что для более подробного сравнения механизма обновления с другими известными механизмами активного управления очередями необходимо уметь вычислять и ряд других, специальных показателей качества, как, например, моменты числа последовательных потерь. Эта задача, требующая отдельного исследования, также представляет несомненный интерес.

## Литература

1. *Chydzinski A., Chrost L.* Analysis of AQM queues with queue size based packet dropping // *Int. J. Appl. Math. Comp.*, 2011. Vol. 21. Iss. 3. P. 567–577. doi: 10.2478/v10006-011-0045-7.
2. *Zaryadov I. S., Razumchik R. V., Milovanova T. A.* Stationary waiting time distribution in  $G/M/n/r$  with random renovation policy // *Comm. Com. Inf. Sc.*, 2016. Vol. 678. P. 418–429. doi: 10.1007/978-3-319-51917-3\_31.
3. *Chydzinski A., Mrozowski P.* Queues with dropping functions and general arrival processes // *PLoS ONE*, 2016. Vol. 11. Iss. 3. Art. ID: e0150702. doi: 10.1371/journal.pone.0150702.
4. *Kononov M., Razumchik R.* Comparison of two active queue management schemes through the  $M/D/1/N$  queue // *Информатика и её применения*, 2018. Т. 12. Вып. 4. С. 9–15. doi: 10.14357/19922264180402.
5. *Zaryadov I., Bogdanova E., Milovanova T., Matushenko S., Pyatkina D.* Stationary characteristics of the  $GI/M/1$  queue with general renovation and feedback // 10th Congress (International) on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops. — IEEE, 2018. P. 1–6. doi: 10.1109/icumt.2018.8631244.
6. *Kononov M. G., Razumchik R. V.* Numerical analysis of improved access restriction algorithms in a  $GI/G/1/N$  system // *J. Commun. Technol. El.*, 2018. Vol. 63. Iss. 6. P. 616–625. doi: 10.1134/S1064226918060141.
7. *Зарядов И. С., Мейханаджян Л. А., Милованова Т. А.* Стационарные характеристики обслуживания в системе  $GI/MSP/n/\infty$  с обобщенным обновлением // *Системы и средства информатики*, 2019. Т. 29. № 4. С. 50–64. doi: 10.14357/08696527190405.
8. *Hilquias V. C. C., Zaryadov I. S., Tsurlukov V. V., Milovanova T. A., Bogdanova E. V., Korolkova A. V., Kulyabov D. S.* The general renovation as the active queue management mechanism. Some aspects and results // *Comm. Com. Inf. Sc.*, 2019. Vol. 1141. P. 488–502. doi: 10.1007/978-3-030-36625-4\_39.
9. *Зарядов И. С.* Система массового обслуживания  $GI/M/n/\infty$  с обобщенным обновлением // *Автоматика и телемеханика*, 2010. № 4. С. 130–139.
10. *Zhu Y.* Markovian queueing networks in a random environment // *Oper. Res. Lett.*, 1994. Vol. 15. Iss. 1. P. 11–17. doi: 10.1016/0167-6377(94)90009-4.
11. *Economou A.* Generalized product-form stationary distributions for Markov chains in random environment with queueing application // *Adv. Appl. Probab.*, 2005. Vol. 37. Iss. 1. P. 185–211. doi: 10.1239/aap/1113402405.

12. Вишнеvский В. М., Дудин А. Н., Клименок В. И. Стохастические системы с коррелированными потоками. Теория и применение в телекоммуникационных сетях. — М.: Техносфера, 2018. 564 с.
13. Бочаров П. П., Печинкин А. В. Теория массового обслуживания. — М.: РУДН, 1995. 529 с.
14. Бочаров П. П. О системе массового обслуживания ограниченной емкости с распределениями фазового типа, зависящими от состояния очереди // Автоматика и телемеханика, 1985. № 10. С. 31–38.
15. Бочаров П. П., Д’Аниче Ч., Печинкин А. В., Салерно С. Стационарные характеристики системы массового обслуживания  $G/MSP/1/r$  // Автоматика и телемеханика, 2003. № 2. С. 127–142. doi: 10.1023/A:1022219232282.
16. Печинкин А. В., Разумчик Р. В. Системы массового обслуживания в дискретном времени. — М.: Физматлит, 2018. 432 с.

Поступила в редакцию 11.08.20

---

---

## STATIONARY CHARACTERISTICS OF THE TWO-NODE MARKOVIAN TANDEM QUEUEING SYSTEM WITH GENERAL RENOVATION

*L. A. Meykhanadzhyan<sup>1</sup>, I. S. Zaryadov<sup>2,3</sup>, and T. A. Milovanova<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Department of Data Analysis and Machine Learning, Financial University under the Government of the Russian Federation, 49 Leningradsky Prosp., Moscow 125993, Russian Federation

<sup>2</sup>Peoples’ Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russian Federation

<sup>3</sup>Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation

**Abstract:** Consideration is given to the Markovian tandem queueing system with two finite-capacity heterogeneous nodes, say node 1 and node 2. The output of node 1 is the input into node 2. Each node is a single-server queue with a Poisson incoming flow of customers and service times having Erlang distribution. The service discipline is FIFO (first in, first out). General renovation is implemented in each node which implies that upon a service completion, a customer may remove a random number of customers from the queue (if any is available), with a given probability distribution; removed customers leave the system. Using the matrix-geometric technique, one derives the joint stationary distribution of the nodes’ states. A recursive algorithm for computation of the stationary loss probabilities under the head-of-the-queue renovation is also proposed.

**Keywords:** queueing system; tandem; general renovation; queue management

**DOI:** 10.14357/08696527200302

## Acknowledgments

The reported study was funded by RFBR, project number 19-07-00739.

## References

1. Chydzinski, A., and L. Chrost. 2011. Analysis of AQM queues with queue size based packet dropping. *Int. J. Appl. Math. Comp.* 21(3):567–577. doi: 10.2478/v10006-011-0045-7.
2. Zaryadov, I. S., R. V. Razumchik, and T. A. Milovanova. 2016. Stationary waiting time distribution in  $G/M/n/r$  with random renovation policy. *Comm. Com. Inf. Sc.* 678:418–429. doi: 10.1007/978-3-319-51917-3\_31.
3. Chydzinski, A., and P. Mrozowski. 2016. Queues with dropping functions and general arrival processes. *PLoS ONE* 11(3):e0150702. doi: 10.1371/journal.pone.0150702.
4. Konovalov, M., and R. Razumchik. 2018. Comparison of two active queue management schemes through the  $M/D/1/N$  queue. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 12(4): 9–15. doi: 10.14357/19922264180402.
5. Zaryadov, I., E. Bogdanova, T. Milovanova, S. Matushenko, and D. Pyatkina. 2018. Stationary characteristics of the  $GI/M/1$  queue with general renovation and feedback. *10th Congress (International) on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops*. IEEE. 1–6. doi: 10.1109/icumt.2018.8631244.
6. Konovalov, M. G., and R. V. Razumchik. 2018. Numerical analysis of improved access restriction algorithms in a  $GI/G/1/N$  system. *J. Commun. Technol. El.* 63(6):616–625. doi: 10.1134/S1064226918060141.
7. Zaryadov, I. S., L. A. Meykhanadzhyan, and T. A. Milovanova. 2019. Stacionarnye kharakteristiki obsluzhivaniya v sisteme  $GI/MSP/n/\infty$  s obobshchennym obnoveniem [Stationary characteristics of the  $GI/MSP/n/\infty$  queue with general renovation]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(4):50–64. doi: 10.14357/08696527190405.
8. Hilquias, V. C. C., I. S. Zaryadov, V. V. Tsurlukov, T. A. Milovanova, E. V. Bogdanova, A. V. Korolkova, and D. S. Kulyabov. 2019. The general renovation as the active queue management mechanism. Some aspects and results. *Comm. Com. Inf. Sc.* 1141:488–502. doi: 10.1007/978-3-030-36625-4\_39.
9. Zaryadov, I. S. 2010. The  $GI/M/n/\infty$  queuing system with generalized renovation. *Automat. Rem. Contr.* 71(4):663–671. doi: 10.1134/S0005117910040077.
10. Zhu, Y. 1994. Markovian queueing networks in a random environment. *Oper. Res. Lett.* 15(1):11–17. doi: 10.1016/0167-6377(94)90009-4.
11. Economou, A. 2005. Generalized product-form stationary distributions for Markov chains in random environment with queueing application. *Adv. Appl. Probab.* 37(1):185–211. doi: 10.1239/aap/1113402405.
12. Vishnevskii, V. M., A. N. Dudin, and V. I. Klimenok. 2018. *Stokhasticheskie sistemy s korrelirovannymi potokami. Teoriya i primeneniye v telekommunikatsionnykh setyakh* [Stochastic systems with correlated streams. Theory and applications in telecommunication networks]. Moscow: Tekhnosfera. 564 p.
13. Bocharov, P. P., and A. V. Pechinkin. 1995. *Teoriya massovogo obsluzhivaniya* [Queueing theory]. Moscow: RUDN. 529 p.

14. Bocharov, P. P. 1985. A queueing system of limited capacity with distributions of phase type depending on the queue state. *Automat. Rem. Contr.* 46:1229–1236.
15. Bocharov, P. P., C. D'Apice, A. V. Pechinkin, and S. Salerno. 2003. The stationary characteristics of the  $G/MSP/1/r$  queueing system. *Automat. Rem. Contr.* 64(2):288–301. doi: 10.1023/A:1022219232282.
16. Pechinkin, A. V., and R. V. Razumchik. 2018. *Sistemy massovogo obsluzhivaniya v diskretnom vremeni* [Discrete time queueing systems]. Moscow: Fizmatlit. 432 p.

Received August 11, 2020

## Contributors

**Meykhanadzhyan Lusine A.** (b. 1990) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics, associate professor, Department of Data Analysis and Machine Learning, Financial University under the Government of the Russian Federation, 49 Leningradsky Prosp., Moscow 125993, Russian Federation; lamejkhanadzhyan@fa.ru

**Zaryadov Ivan S.** (b. 1981) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics, associate professor, Department of Applied Informatics and Probability Theory, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russian Federation; senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; izaryadov@sci.pfu.edu.ru

**Milovanova Tatiana A.** (b. 1977) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics, senior lecturer, Department of Applied Informatics and Probability Theory, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russian Federation; tmilovanova77@mail.ru

## ОБ ЭРГОДИЧНОСТИ ОДНОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ДИСЦИПЛИНОЙ АБСОЛЮТНОГО ПРИОРИТЕТА\*

*А. В. Мистрюков*<sup>1</sup>

**Аннотация:** Известные результаты по эргодичности приоритетных систем массового обслуживания (СМО) получены в предположении, что входящие потоки требований всех приоритетов пуассоновские. В данной работе это требование ослаблено, а именно найдены достаточные условия эргодичности СМО с двумя классами приоритетов, в которых поток требований высшего приоритета является гиперэкспоненциальным или эрланговским, а низшего — рекуррентным. Исследованы системы с абсолютным приоритетом. Для получения искомым условий для последовательных времен ожидания в очереди требований каждого приоритета получены рекуррентные соотношения, известные как рекурсия Линдли. Полученная цепь Маркова исследуется методом пробных функций.

**Ключевые слова:** абсолютный приоритет; эргодичность; метод пробных функций; гиперэкспоненциальный поток; эрланговский поток

**DOI:** 10.14357/08696527200303

### 1 Введение

Проблема нахождения условий эргодичности традиционна для теории массового обслуживания. Эти условия важны для приложений, поскольку они определяют соотношения между параметрами модели, при выполнении которых не возникает бесконечно больших очередей. При изучении эргодичности приоритетных систем обычно накладывались ограничения либо на время между поступлениями требований в систему, либо на время их обслуживания. Работ, в которых исследуется эргодичность приоритетных систем с рядом дисциплин абсолютного приоритета, не относящихся к классам  $M/G/1$  и  $G/M/1$ , практически нет. В данной работе обобщены результаты, полученные в [1] на случай произвольного приоритетного входящего потока, приведены результаты в случае, когда время между поступлениями приоритетных требований распределено согласно распределению Эрланга и гиперэкспоненциальному распределению.

---

\* Исследования проводились в рамках программы Московского центра фундаментальной и прикладной математики.

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, факультет вычислительной математики и кибернетики, unf08@rambler.ru



## 2 Описание системы и обозначения

Рассматривается одноканальная СМО с неограниченным числом мест для ожидания и двумя потоками требований. Время обслуживания и времена между приходами требований обоих приоритетов имеют произвольные абсолютно непрерывные распределения. Рассматривается дисциплина абсолютного приоритета.

Запишем рекурсию Линдли для такой СМО. Обозначим через  $s_1^{(i)}, s_2^{(i)}, \dots$  и  $t_1^{(i)}, t_2^{(i)}, \dots$  последовательные времена обслуживания и интервалы между поступлениями требований  $i$ -го потока,  $B^{(i)}$  — функцию распределения времени обслуживания требований  $i$ -го приоритета,  $s^{(i)} = \mathbf{E}s_1^{(i)}$ ,  $t^{(i)} = \mathbf{E}t_1^{(i)}$ ,  $w_n^{(i)}$  — время ожидания до начала обслуживания  $n$ -м требованием  $i$ -го потока (нумерация проводится в порядке поступления в систему);  $s_1^{(i)}, s_2^{(i)}, \dots$ , как и  $t_1^{(i)}, t_2^{(i)}, \dots$  — независимые в совокупности, одинаково распределенные случайные величины, имеющие абсолютно непрерывное распределение. Для очереди приоритетного потока рекурсия Линдли записывается как

$$w_{n+1}^{(1)} = \left( w_n^{(1)} + s_n^{(1)} - t_{n+1}^{(1)} \right)_+ . \quad (1)$$

Как показано в [2], чтобы марковская цепь (МЦ) (1) была эргодичной по Хarrisу (см., например, [3, 4], достаточно, чтобы существовали первые моменты  $s_n$  и  $t_n$ ,  $\mathbf{E}(s_n - t_n) < 0$ , а  $s_n$  и  $t_n$  имели абсолютно непрерывное распределение.

Для неприоритетной очереди в рекурсии Линдли надо также учесть влияние приоритетной очереди. Для этого будем рассматривать двумерную МЦ  $(\nu_n, w_n^{(2)})$ , где  $\nu_n$  — компонента, однозначно задающая распределение времени до прихода следующего приоритетного требования на момент начала обслуживания  $n$ -го неприоритетного требования. Назовем ее фазой приоритетного потока. Тогда для очереди неприоритетного потока рекурсия Линдли запишется как

$$w_{n+1}^{(2)} = I \left( w_n^{(2)} + \hat{T}(s_n^{(2)}, \nu_n) - t_{n+1}^{(2)} > 0 \right) \left( w_n^{(2)} + \hat{T}(s_n^{(2)}, \nu_n) - t_{n+1}^{(2)} \right) + \\ + I \left( w_n^{(2)} + \hat{T}(s_n^{(2)}, \nu_n) - t_{n+1}^{(2)} < 0 \right) T^* \left( t_{n+1}, w_n^{(2)}, \hat{T}(s_n^{(2)}, \nu_n) \right), \quad (2)$$

где  $\hat{T}(s_n, \nu_n)$  — время, прошедшее с момента начала обслуживания  $n$ -го неприоритетного требования до момента, когда система освободилась от этого требования и требований первого приоритета, пришедших за время обслуживания этого требования,  $I(A)$  — индикатор события  $A$ , а случайная величина  $T^*(t_{n+1}, w_n^{(2)}, \hat{T}(s_n^{(2)}, \nu_n))$  имеет такое же распределение, как время до первого освобождения системы после момента времени  $w_n^{(2)} + \hat{T}(s_n^{(2)}, \nu_n) - t_{n+1}^{(2)}$ , если в систему поступает только поток приоритетных требований и в начальный момент система свободна от них. Также введем обозначение  $\hat{T}(\nu) = \mathbf{E} \left( \int \hat{T}(s, \nu) dB^{(2)}(s) | \nu \right)$ .

### 3 Условия эргодичности

Введем вспомогательную МЦ с пространством состояний  $Y$ , связанную с фазой приоритетного потока. Точнее, введем МЦ с переходными вероятностями, соответствующими изменениям фазы приоритетного потока до и после  $\hat{T}(s_n^{(2)}, \nu_n)$ , обозначим их  $\hat{P}$ . Пусть на момент начала  $\hat{T}$  фаза имеет распределение  $\tilde{\nu}_0$ . Тогда на момент окончания  $\hat{T}$  фаза будет иметь распределение

$$\hat{P}\tilde{\nu}_0(A) = \int P(x, A) d\tilde{\nu}_0(dx)$$

для любого множества  $A$  из  $\sigma(Y)$ . Обозначим эту МЦ  $\tilde{\nu}_n$ . Тогда условия эргодичности (2) описываются следующей теоремой, доказанной в [1].

**Теорема 1.** Пусть

- (1)  $\hat{T}(\nu)$  была ограничена как случайная величина относительно  $\nu$ ;
- (2) цепь  $\hat{\nu}_n$  эргодична и сходится к своей инвариантной мере  $F_{\text{inv}}(\nu)$  по полной вариации;
- (3) выполнены условия эргодичности для приоритетной очереди и  $E((s_n^{(1)})^2)$  существует и конечен.

Тогда для эргодичности (2) достаточно, чтобы

$$\int \hat{T}(\nu) dF_{\text{inv}}(\nu) < t^{(2)}.$$

Опираясь на теорему 1 и пользуясь методами, изложенными в [1, 5, 6], можно показать, что в случае гиперэкспоненциального и эрланговского входящих приоритетных потоков достаточные условия эргодичности неприоритетной очереди описываются следующей теоремой.

**Теорема 2.** Достаточные условия эргодичности неприоритетной очереди в случае с потерей неприоритетного требования:

$$(1 - p_{\text{inv}}) \left( E \left( t_{\text{inv}} | s_n^{(2)} > t_{\text{inv}} \right) + \pi_1 \right) + p_{\text{inv}} E \left( s_n^{(2)} | s_n^{(2)} < t_{\text{inv}} \right) - t^{(2)} < 0;$$

достаточные условия эргодичности неприоритетной очереди в случае с обслуживанием неприоритетного требования заново:

$$(1 - p_{\text{inv}}) \left( E \left( t_{\text{inv}} | s_n^{(2)} > t_{\text{inv}} \right) + \pi_1 \right) + \frac{1 - p_{\text{bp}}}{p_{\text{bp}}} \left[ \left( E \left( t_{\text{bp}} | s_n^{(2)} > t_{\text{bp}} \right) + \pi_1 \right) + E \left( s_n^{(2)} | s_n^{(2)} < t_{\text{bp}} \right) \right] + p_{\text{inv}} E \left( s_n^{(2)} | s_n^{(2)} < t_{\text{inv}} \right) - t^{(2)} < 0,$$

где  $t_{\text{inv}}$  имеют распределение  $F(t_{\text{inv}} < x) = \sum_{i=1}^N F_{\text{inv}}(i)(1 - \exp(-a_i x))$ ;  $t_{\text{bp}}$  имеют распределение  $F(t_{\text{bp}} < x) = \sum_{i=1}^N F_{\text{bp}}(i)(1 - \exp(-a_i x))$ ;  $F_{\text{bp}}(\nu) = \sum_i c_i \pi_{\nu i}(s)$  — фаза приоритетного потока на момент окончания периода занятости, начавшегося с одного требования:

$$p_{\text{inv}} = P\left(s_n^{(2)} < t_{\text{inv}}\right); \quad p_{\text{bp}} = P\left(s_n^{(2)} < t_{\text{bp}}\right);$$

$$\pi_i(s) = \sum_{\nu} \pi_{\nu i}(s); \quad \pi_1 = \sum_{i=1}^N c_i \left( \frac{\partial \pi_i(s)}{\partial s} \right) \Big|_{s=0}.$$

1. В случае, если время между приходами приоритетных требований распределено согласно гиперэкспоненциальному распределению с плотностью

$$a(t) = \begin{cases} \sum_{j=1}^N c_j a_j \exp(-a_j t), & t \geq 0; \\ 0, & t < 0; \end{cases} \quad \sum_{j=1}^N c_j = 1,$$

величины из условий определяются следующим образом:

$$\sum_{j=1}^N \frac{a_j}{\mu_k^*(s) + a_j} \pi_{j\nu}(s) = \frac{a_j}{\mu_k^*(s) + a_j} \beta(s - \mu_1^*(s))$$

и  $\mu_k^*(s)$  могут быть численно найдены из уравнения:

$$\frac{\prod_{j=i}^N \mu_k^*(s) + a_i}{\sum_{j=1}^N c_j a_j \prod_{i \neq j} \mu_k^*(s) + a_i} = \beta(s - \mu_k^*(s)),$$

где  $\beta$  — преобразования Лапласа–Стилтьеса времени обслуживания приоритетных требований

$$F_{\text{inv}}(1) = \frac{1}{(1 + \sum_{i=2}^N L_{i1})},$$

$$F_{\text{inv}}(\nu) = F_{\text{inv}}(1) L_{\nu 1}, \quad \nu = 2, \dots, N.$$

В случае с потерей требования:

$$L_{\nu k} = \frac{\sum_i c_i \pi_{\nu i}(0)(1 - p_k)}{(1 - p_\nu) \sum_i c_i \pi_{ki}(0)}.$$

В случае с обслуживанием требования заново:

$$L_{\nu k} = \frac{\sum c_i \pi_{\nu i}(0) p_{\nu}(1 - p_k)}{(1 - p_{\nu}) \sum c_i \pi_{ki}(0) p_k};$$

$$p_i = \int_0^{\infty} e^{-a_i s} dB^{(2)}(s).$$

2. В случае, если время между приходами приоритетных требований распределено согласно распределению Эрланга с параметрами  $a_i$ ,  $i = 1, \dots, k$ , величины из условий определяются следующим образом:

$\pi_{j\nu}(n^0, s)$  определяется из системы линейных уравнений

$$\sum_{j=1}^k \pi_{j\nu}(n^0, s) \prod_{\mu=j}^{k-1} a_{\mu} \prod_{l=1}^{j-1} (\lambda_m(z_m(s)) + a_l) = \varphi(z) \prod_{\mu=\nu}^{k-1} a_{\mu} \prod_{l=1}^{\nu-1} (\lambda_m(z_m(s)) + a_l),$$

где  $\lambda_m$  являются корнями уравнения

$$\prod_{i=1}^k \frac{\lambda + a_i}{a_i} = z,$$

а  $z_m(s)$  определяются из уравнения

$$z = \beta(s - \lambda_m(z));$$

$F_{\text{inv}}(\nu)$  определяются из линейных уравнений

$$F_{\text{inv}}(\nu) = \sum_{i=1}^{\nu} p_{i\nu} F_{\text{inv}}(i) + \left( \sum_j (1 - p_j) F_{\text{inv}}(j) \right) \pi_{\nu 1}(0)$$

в случае с потерей требования и

$$F_{\text{inv}}(\nu) = \sum_{i=1}^{\nu} F_{\text{inv}}(i) p_{i\nu} + \left( \sum_j (1 - p_j) F_{\text{inv}}(j) \right) \left[ \sum_{n=0}^{\infty} (p_{\text{inv}})^n \tilde{p}_{\nu} \right]$$

в случае с дообслуживанием требования;

$$p_{\text{int}} = \sum_j \pi_{j1}(0)(1 - p_j),$$

$$p_{ij} = \int_0^{\infty} \left[ \int_0^s A_{ij-1}(t) \left( e^{-a_j(s-t)} \right) dt \right] dB^{(2)}(s), \quad i < j \leq k,$$

$$p_{ii} = \int_0^{\infty} e^{-a_i s} dB^{(2)}(s), \quad p_i = \sum_{j=i}^k p_{ij},$$

где  $A_{ij}$  — функция распределения случайной величины  $\sum_{l=i}^j \xi_l$ ,  $i \leq j$ , где  $\xi_l$  экспоненциально распределена с параметром  $a_l$ .

## Литература

1. *Mistryukov A. V., Ushakov V. G.* Sufficient conditions of the ergodicity of queueing systems with absolute priority // *Mosc. Univ. Comput. Math. Cybern.*, 2020. Vol. 44. Iss. 1. P. 39–45.
2. *Мистрюков А. В., Ушаков В. Г.* Достаточные условия эргодичности приоритетных систем массового обслуживания // *Информатика и её применения*, 2018. Т. 12. Вып. 2. С. 24–26.
3. *Meyn S., Tweedie R.* Markov chains and stochastic stability. — Springer Verlag, 1993. 550 p.
4. *Боровков А.* Эргодичность и устойчивость случайных процессов. — М.: Эдиториал УРСС, 1999. 450 с.
5. *Ushakov V. G.* A queueing system with Erlang incoming flow with relative priority // *Theor. Probab. Appl.*, 1978. Vol. 44. Iss. 4. P. 841–846.
6. *Матвеев В. Ф., Ушаков В. Г.* Системы массового обслуживания. — М.: Изд-во Московского ун-та, 1984. 240 с.

Поступила в редакцию 28.04.20

## ERGODICITY OF SINGLE SERVER QUEUES WITH PREEMPTIVE PRIORITY

*A. V. Mistryukov*

Department of Mathematical Statistics, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M. V. Lomonosov Moscow State University, 1-52 Leninskiye Gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation

**Abstract:** Well known results on ergodicity of queues with preemptive priority were obtained under the assumption that jobs arrive according to Poisson process. However, this assumption does not always hold true in practice. In this paper, the author finds sufficient ergodicity conditions for queues with two priority classes with single server, where interarrival times of high priority jobs

have either Erlang or hyperexponential distribution and interarrival times of low priority jobs and service times of jobs of both classes have arbitrary continuous distributions. To formulate desired conditions, the authors use Lindley's recursion for waiting times of each priority class queue. Using Lyapunov–Foster criteria, the authors obtain sufficient conditions for a given recursion to be Harris-ergodic Markov chain.

**Keywords:** preemptive priority; ergodicity; Lyapunov–Foster criteria; hyperexponential arrivals; Erlang arrivals

**DOI:** 10.14357/08696527200303

## Acknowledgments

The research was performed in accordance with the Program of the Moscow Center for Fundamental and Applied Mathematics.

## References

1. Mistryukov, A. V., and V. G. Ushakov. 2020. Sufficient conditions of the ergodicity of queueing systems with absolute priority. *Mosc. Univ. Comput. Math. Cybern.* 44(1):39–45.
2. Mistryukov, A. V., and V. G. Ushakov. 2018. Dostatochnye usloviya ergodichnosti prioritnykh sistem massovogo obsluzhivaniya [Sufficient ergodicity conditions for priority queues]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 12(2):24–26.
3. Meyn, S., and R. Tweedie. 1993. *Markov chains and stochastic stability*. Springer Verlag. 550 p.
4. Borovkov, A. 1999. *Ergodichnost' i ustoychivost' sluchaynykh protsessov* [Ergodicity and stability of stochastic processes]. Moscow: Editorial URSS. 440 p.
5. Ushakov, V. G. 1978. A queueing system with Erlang incoming flow with relative priority. *Theor. Probab. Appl.* 22(4):841–846.
6. Matveev, V. F., and V. G. Ushakov. 1984. *Sistemy massovogo obsluzhivaniya* [Queueing systems]. Moscow: Moscow University Publishing House. 240 p.

Received April 28, 2020

## Contributor

**Mistryukov Andrei V.** (b. 1988) — PhD student, Department of Mathematical Statistics, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M. V. Lomonosov Moscow State University, 1-52 Leninskiye Gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation; unf08@rambler.ru

## РЕШЕНИЕ ГОМОГЕННЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ СПЕЦИАЛИСТОМ В МЕДИЦИНЕ\*

*С. Б. Румовская<sup>1</sup>, А. В. Колесников<sup>2</sup>*

**Аннотация:** Рассматриваются особенности индивидуального решения задач врачом, в частности вклад образного мышления в постановку диагноза. У опытного врача хорошо развито правополушарное мышление, и он активно пользуется им в процессе диагностики пациента, т. е. рассуждения базируются не только на точном анализе, но и на правосторонних механизмах рассуждения, благодаря чему формируются вербально-гапτικο-визуальные образы диагностической задачи и состояния объекта диагностики — текущего, нормы, прошлых из опыта предыдущих лет работы. В работе описана общая схема формулирования и решения гомогенных диагностических задач, а также когнитивный образ объекта диагностики и его функциональная деформация в оперативные образы, содержащие только требуемые для реализации частного действия над объектом диагностики характеристики.

**Ключевые слова:** гомогенные диагностические задачи; индивидуальное принятие диагностических решений; когнитивный образ объекта диагностики; оперативные образы объекта диагностики

**DOI:** 10.14357/08696527200304

### 1 Введение

Медицина — одна из самых слабо структурированных предметных областей. Большую часть заболеваний, особенно гетерогенных, невозможно выявить, используя лишь описания симптомов. Только опытные врачи или коллективы врачей с опытом не менее 10 лет способны распознать такие заболевания. Развитие компьютерной графики и инженерии образов связано с такими именами, как Б. А. Кобринский, В. Б. Тарасов, О. П. Кузнецов, Ю. Р. Валькман, В. М. Хачумов, А. А. Башлыков и А. Е. Ямпольская. Известны прикладные разработки когнитивной компьютерной графики В. М. Хачумова [1], Б. А. Кобринского [2], E. Vardell с соавторами [3] и др.

В [4] для компьютерной имитации когнитивных образований и усиления человеческого интеллекта в оперативной работе предложены когнитивные гибридные интеллектуальные системы, а также применительно к ним разработан

---

\*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект 19-07-00250А).

<sup>1</sup>Калининградский филиал Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, sophiyabr@gmail.com

<sup>2</sup>Балтийский федеральный университет им. И. Канта, avkolesnikov@yandex.ru

язык описания отношений и связей (ЯООС) для предикативного кодирования словесно-вербальных знаний о ресурсах, свойствах и действиях персонала.

В работе рассмотрены особенности индивидуального решения задач в медицине, применение опытным врачом механизма решения диагностических задач на основе образного мышления или механизма последовательного включения принятия решения на основе образов и вербально-знаковых представлений, а также описан когнитивный образ объекта диагностики (ОД) и его функциональная деформация в оперативные образы на ЯООС.

## 2 Особенности индивидуального решения задач в медицине

У опытного врача хорошо развиты образное (правополушарное) мышление и интуиция, запускающая механизм решения на основе образного мышления или механизм последовательного включения принятия решения на основе образов и вербально-знаковых представлений на всех стадиях диагностики пациента.

Б. А. Кобринский в работе [5] исследовал применение интуиции и образного мышления специалистом в медицине при диагностике пациентов. Результаты анализа его исследований сведены в представленную таблицу.

Обнаружение определенного признака вызывает эффект озарения, и перед мысленным взором возникает некий образ, т. е. имеет место инсайт, обозначающий целостные, не сводимые к сумме своих частей структуры сознания. Есть параллельный механизм: в мозге человека, столкнувшегося с конкретным фактом (явлением), мгновенно восстанавливается ряд связанных с ним признаков.

При первичной диагностике пациента, а также последующей дифференциальной врач имеет дело с двумя типами образов [8], которые подтверждают и дополняют результаты исследований Б. А. Кобринского:

- когнитивный (познавательный) образ объекта (КОО) — образ, который содержит всю потенциально необходимую информацию об ОД. Он избыточен, все время развивается — пополняется новыми данными, а также отбрасываются избыточные признаки, обособляются и отрабатываются его информационные структуры. С ростом информационного объема структура КОО приобретает характер классификационной схемы. Как только один из показателей состояния здоровья выходит за пределы нормы, выделяется пертинентная в данной ситуации информация, т. е. оперативная парциальная структура КОО, оперативный уровень отражения ОД в КОО или адекватная частной диагностической задаче система межуровневых оперативных структур;
- оперативные образы объекта (ООО) — образы, содержащие только требуемые для реализации частного действия над ОД характеристики. Однако даже они у врача комплексные, так как формируются на основе данных от различных источников информации (опрос, осмотр, пальпация, данные



## Образное мышление специалиста в медицине

Элементы	Характеристика
Образы	Облегчают запоминание ассоциативных пар. Выделяют: (а) <i>мысленный</i> — в виде обобщенного представления группы взаимосвязанных симптомов (семантический, или скорее псевдосемантический, образ как частный случай — псевдовербальный), когда отдельные признаки воспринимаются как совокупность, как симптомокомплекс — метафорический обобщенный образ; (б) <i>визуальный</i> или <i>псевдовизуальный</i> — «всплывание» истинно зрительного, персонифицированного образа, известного из личного опыта или медицинской литературы
Ассоциации симптомов друг с другом	Обусловлены пониманием проявлений различных заболеваний, возникших в результате изучения текстологических источников. Выделяют: пространственные, причинно-следственные, по сходству, по контрасту. Лежат в основе образного мышления у врачей
Память	Хранит вербальные и визуальные интерпретации ситуаций в виде понятий (концептов) и высказываний, пропозиций (концептуально-пропозициональная гипотеза Р. Шепарда [6])
Образ на текущий момент времени (оперативный)	Формируется на основе наблюдаемой совокупности фактов. Может быть целостным (присутствуют все формирующие его признаки) и неполным или размытым вследствие разной степени выраженности признаков и/или отсутствия части из них
Образ пациента	Формируется на базе неявных связей симптомов, причем внешний вид пациента воспринимается «целиком». Сравняется с образами, накопленными в структурах памяти [7]
Образ заболевания, синдрома или симптомокомплекса	Базируется на обязательных и главных симптомах для классификации состояния здоровья пациента (причем множество главных может меняться в зависимости от фазы развития заболевания), так как врач, способный интуитивно быстро принять решение, в высокой степени уверен в их роли
Периферия образа заболевания	Это сопутствующие или случайные проявления. Размыто решение (гипотеза), принятое (выдвинутая) на основе периферических показателей — сопровождается уже степенью уверенности врача

лабораторного и инструментального обследований) — вербально-гапτικο-визуальный оперативный образ. При этом качество диагноза напрямую связано с качеством сформированного за годы практики у врача множества соотносимых образов-образцов («мысленных моделей») различных видов патологий. Способность актуализировать теоретические знания и применять их при диагностике приводит к правильному сочетанию в единый информационный комплекс данных вербальной, гаптической и визуальной информации с правильной оценкой веса этих источников информации для постановки диагноза в конкретной ситуации. Однако здесь помимо афферентной оперативной структуры, функция которой — классификация состояния здоровья ОД, необходимо выделить еще и эффекторную структуру — систему вза-

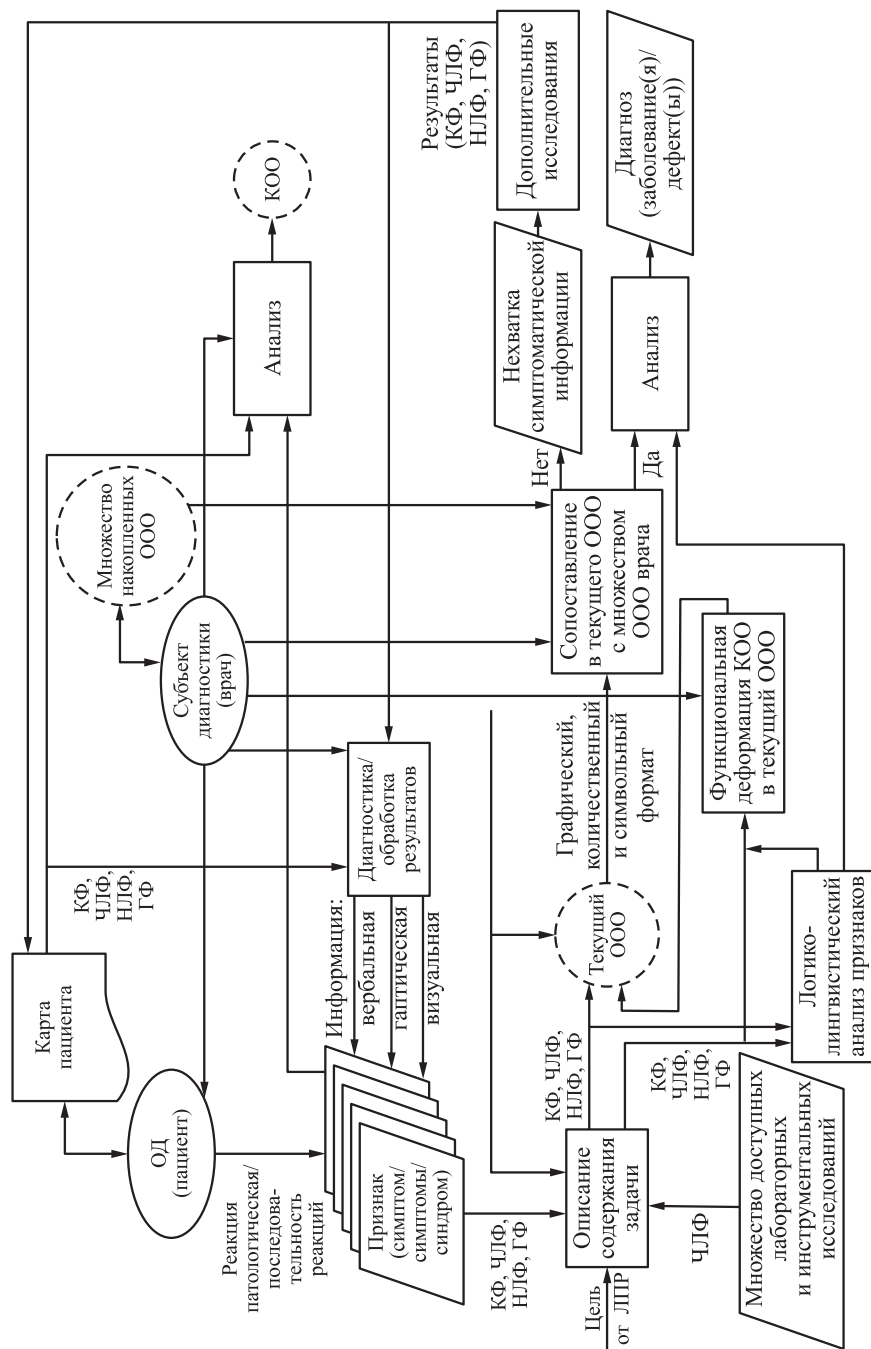
имосвязанных элементов — лечебных воздействий субъекта диагностики на объект, переводящих ОД из текущего состояния в заданное. Функциональная структура системы элементов соответствует протоколам лечения (клиническим рекомендациям). Такой тип образа необходим в ситуациях, когда отслеживается состояние пациента на различных фазах заболевания. Например, при диагнозе острого панкреатита назначения после первичной диагностики (в первые 24 часа) корректируются по результатам обследований после 24–48 часов, на 3-и сутки, 4–7-е сутки, 12–15-е сутки, 16–30-е сутки.

В дополнение к КОО и ООО можно выделить три механизма принятия индивидуального решения [9] диагностической задачи, частной, гомогенной:

- (1) «случайный» — на основании неожиданного совпадения ее описания (части описания) ситуации и элементов прошлого опыта, в том числе относительно действий в подобной диагностической ситуации, направленных на расширение ее описания (повышение ее прозрачности) с целью постановки диагноза;
- (2) «телеологический», целенаправленный — как только задача сформулирована, у врача возникает множество разноплановых ассоциаций, чаще образных. Но для постановки диагноза этого недостаточно. Именно после постановки цели, врач начинает осознавать отношения между заданными характеристиками состояния ОД и искомым заключением. Например, если специалисту по лучевой диагностике дать снимки компьютерной томографии брюшной полости для анализа, то в первый момент у него возникнет много ассоциативных представлений (образов), но гомогенные задачи в диагностике так не формулируются, они частные, и цель будет «специфичной». Например, опровергнуть или подтвердить и локализовать рак поджелудочной железы;
- (3) «целостный» («функциональный» или «структурный») — задача здесь незамкнутая «напряженная» система (гештальт), содержащая конфликт в своей структуре между условиями и целью, включающая решателя. Смысл отдельных условий становится ясным только в рамках целого. Момент замыкания гештальта — центральный пункт в ходе мыслительного процесса — инсайт.

На основе вышесказанного построена схема формулирования и решения гомогенной диагностической задачи врачом (см. рисунок). Функциональная деформация КОО запускается у врача при появлении цели в формулировке либо, если подозрений на какое-то заболевание еще нет, по отношению ресурс-свойство, т. е. при достижении критических значений признаков одной из системных функциональных единиц систем организма — различные клеточные и тканевые структуры (например, ацинус поджелудочной железы), работающие по принципу максимального или нулевого действия.

Рассмотрим далее описание когнитивного образа объекта диагностики и описание его функциональной деформации в оперативный образ на ЯООС из [4].



Общая схема решения задачи врачом: КФ — количественный формат; ЧЛФ — четкие лингвистические переменные; НЛФ — нечеткие лингвистические переменные; ГФ — графический формат; ЛПР — лицо, принимающее решение

### 3 Когнитивный и оперативный образы объекта диагностики в предикативной модели языка профессиональной деятельности

В [10] был предложен визуальный метаязык аксиоматической теории ролевых визуальных диагностических моделей функциональных гибридных интеллектуальных диагностических систем как систем поддержки принятия диагностических решений с когнитивной визуализацией проблем и получением интегрированного образа «состояние органов и систем человека». Также в [10] введено понятие состояния ОД как  $ST_{od}(t)$  в момент времени  $t$  — интегрированный образ совокупности существенных для решаемой в момент  $t$  диагностической задачи параметров, качественных нечетких характеристик ресурсов и исполняемых функций, а также  $d$ -ситуаций одновременного исполнения некоторого множества действий над ОД — диагностических операций (а также лечебных операций) и их локализации и  $r$ -ситуаций — одновременного выполнения действий ресурсами, т. е. реакции одних систем организма, его подсистем и их элементов на деятельность других систем организма, его подсистем и их элементов, а также реакции на внешние воздействия на организм. Сценарий диагностики и/или лечения — план — выявляет  $r$ -ситуацию, поэтому  $d$ -ситуации определяют  $r$ -ситуации.

В [4] описана лексика  $gkx$  — кодирования семантики отношений и связей в предикативной модели языка профессиональной деятельности: введены множества понятий ЯООС; множество базовых отношений и языки первых трех уровней (базисов; простых и сложных ресурсов; свойств и действий).

Моделирование производственной и пространственной структур,  $d$ - и  $r$ -ситуаций выполняется на четвертом уровне ЯООС:  $L_4(X^0, X^n, \{^f R_{ij}^{\Pi}\}, (, ), P^4) = \{^i \pi_k\}$  — множество производных понятий (ПП)  $\{^1 \pi_1, \dots, ^1 \pi_\lambda, ^3 \pi_1, \dots, ^3 \pi_\nu\} = \Pi$  на ресурсах и действиях, получаемых по правилу  $p_1^4 \in P^4$  из  $X^0, X^n, ^3 R_{ij}^{\Pi}, ^4 R_{ij}^{\Pi}, ^6 R_{ij}^{\Pi}, (, )$ . Здесь  $X^0$  и  $X^n$  — множества базовых и производных понятий ЯООС, а  $^3 R_{ij}^{\Pi}, ^4 R_{ij}^{\Pi}$  и  $^6 R_{ij}^{\Pi}$  — производные отношения, пространственные, временные и причинности соответственно, заданные в языке профессиональной деятельности словосочетанием. При этом если  $^i x_k$  из  $\{^1 x_1, \dots, ^1 x_\eta, ^2 x_1, \dots, ^2 x_\varphi, ^3 x_1, \dots, ^3 x_\psi\}$  равно  $^j D_k | k = \{1, 2, \dots, \eta, \dots, \varphi, \dots, \psi\}$ , то  $^i x_k$  — определяемое понятие, а  $^j D_k$  — его определение (ПП представляется в единстве определяемого и определения).

Правило  $p_1^4$ :

- (1) если производные отношения, выводимые из целевых отношений  $r_1^0$  («иметь») и  $r_2^0$  («быть»),  $r_{ij}^{\Pi} \in ^3 R_{11}^{\Pi}$ , а  $^1 D_a$  и  $^1 D_m$  — ПП в  $^1 X^n$ , то  $(^1 D_a r_{11}^{\Pi} (^1 D_m))$  — ПП в  $^1 \Pi \subset \Pi$ ;
- (2) если  $r_{33}^{\Pi} \in ^4 R_{33}^{\Pi}, ^6 R_{33}^{\Pi}$ , а  $^3 D_a$  и  $^3 D_m$  — ПП в  $^3 X^n$ , то  $(^3 D_a r_{33}^{\Pi} (^3 D_m))$  — ПП в  $^3 \Pi \subset \Pi$ ;
- (3) если  $^i \pi_k$  и  $^i \pi_m$  — ПП в  $^i \Pi$ , то  $\pi_k$  и  $\pi_m$  — ПП в  $^i \Pi$ ;

- (4) если  $r_{11l}^{\Pi} \in {}^3R_{11}^{\Pi}$ ,  $r_{33}^{\Pi} \in {}^4R_{33}^{\Pi}$ ,  ${}^6R_{33}^{\Pi}$ ,  ${}^1D_k$  и  ${}^3D_m$  — ПП в  ${}^1X^n$ ,  ${}^3X^n$ , то  $r_{11l}^{\Pi} {}^1D_k$  и  $r_{33l}^{\Pi} {}^3D_m$  — признаки в  ${}^1\Pi$ ,  ${}^3\Pi$ ;
- (5) если  ${}^iA$  и  ${}^iB$  — признаки, то  ${}^iA^iB$  — также признак в  ${}^i\Pi$ ;
- (6) если  ${}^iD_b$  — ПП в  ${}^iX^n$ , а  ${}^iA$  — признак в  ${}^i\Pi$ , то  $({}^iD_b({}^iA))$  — ПП в  ${}^i\Pi$ ;
- (7) никаких других ПП в  $\Pi$  нет.

Очевидно, что в  ${}^1\Pi$  может быть описана как пространственная структура объекта диагностики  ${}^1\Pi_C \subset {}^1\Pi$ , так и текущая  $r$ -ситуация  ${}^1\Pi_r \subset {}^1\Pi$ , аналогично в  ${}^3\Pi$  ПП соответствует  ${}^3\Pi_C \subset {}^3\Pi$ , а  $d$ -ситуации —  ${}^3\Pi_d \subset {}^3\Pi$ .

Моделирование «когнитивного образа состояния объекта диагностики» выполняется на пятом уровне ЯООС:  $L_5(\Pi, P^5) = \{s_k\}$  — множество ПП — когнитивный образ состояний  $\{s_1, s_2, \dots, s_\omega\} = S$ , формально выводимых по правилу  $p_1^5 \in P^5$ . В ответ на внешнее воздействие система инициирует действие, реакцию, на получение необходимого для ее выживания результата действия.

Правило  $p_1^5$ :

- (1) если  ${}^1\Pi_r \subset {}^1\Pi$ ,  ${}^3\Pi_d \subset {}^3\Pi$  и  $\{{}^1x_r = {}^1D_r\}$ ,  $\{{}^3x_d {}^3D_d\}$  — подмножества производных понятий в  ${}^1X^n$  и  ${}^3X^n$  соответственно, а  ${}^{212}x^n = {}^{212}D|(r_{223}^{\Pi} {}^{212}x_\mu^0 r_{251}^{\Pi} ({}^5x_\omega^0)) \in {}^{212}D$ ,  ${}^{212}x_\mu^0$  — реакция,  ${}^5x_\omega^0 \in \{\text{нормальная, гипореактивность, гиперреактивность компенсаторная, гиперреактивность патологическая, извращенная}\}$  — ПП в  ${}^{212}X^0$ , то  ${}^3\hat{\Pi}_d {}^1\Pi_r {}^{212}x_\mu^n$ , где  $\{\hat{x}_d = {}^3\hat{D}_d\}$  получены в результате подстановки (если  ${}^1x_m = {}^1D_m$  и  ${}^3x_l = {}^3D_l$  — ПП в  ${}^1X^n$  и  ${}^3X^n$  соответственно и  ${}^1x_f^0 \in {}^1D_m$ ,  ${}^3D_l$ , то подстановкой назовем замену  ${}^1x_f^0$  в  ${}^3D_l$  на  ${}^1x_m$  или  ${}^1D_m$ , после чего план действия  ${}^3x_l = {}^3D_l$  становится реальностью  ${}^3\hat{x}_l = {}^3\hat{D}_l$ ), есть ПП в  $S$ ;
- (2) никаких других ПП в  $S$  нет.

Высказывание о КОО будет включать:  ${}^3\hat{\Pi}_d$  — ПП « $d$ -ситуацию» по отношению действие–действие,  ${}^1\Pi_r$  — ПП « $r$ -ситуацию» по отношению ресурс–ресурс,  $({}^{212}x_\mu^0 r_{251}^{\Pi} ({}^5x_\omega^0))$ -характеристику — реакция  ${}^{212}x_\mu^0$  с вычисленным значением  ${}^5x_\omega^0$  по отношению ресурс–свойство, для ресурсов  $r$ -ситуации.

Момент отображения человеку-оператору ООО вычисляется по отношению ресурс–свойство, исходя из резистентных значений показателей состояния здоровья пациента. Если пороговое значение достигнуто, то КОО деформируется в знак ООО. Поскольку по отношению свойст-во-ресурс известны ресурсы с патологической реакцией, т. е. те ресурсы из  ${}^1\Pi_r$ , свойства которых вышли за допустимые интервалы (назовем их ресурсами с дефектами), то прежде всего редуцируются  ${}^i x_k = {}^j D_k$  удалением из  ${}^j D_k$  неактуальных дополнительных признаков по правилу: «Если в операции  ${}^3x_f^n$  привлекаются ресурсы  ${}^1\tilde{x}_1^n, {}^1\tilde{x}_2^n, \dots, {}^1\tilde{x}_m^n$ , то из  ${}^1\Pi_C$  можно вырезать фрагмент  ${}^1\Pi_C$ , содержащий связи только между ресурсами  ${}^1\tilde{x}_1^n, {}^1\tilde{x}_2^n, \dots, {}^1\tilde{x}_m^n$ . Все остальные связи  ${}^1\Pi_C$  несущественны». Затем

редуцируется пространственная структура  ${}^1\Pi_C$  объекта диагностики до фрагмента, содержащего информацию только о местоположении ресурса с дефектом (дефектами). И поскольку данный ресурс исполняет определенную роль по отношению ресурс–действие в некотором действии из  $d$ -ситуации  ${}^3\Pi_d$  и потому связан по отношениям ресурс–ресурс с другими ресурсами из  ${}^1\Pi_r$ , то редуцируется и знак  ${}^1\Pi_r$  по правилу: «*Всякое ПП КОО  $s(t) = {}^3\hat{\Pi}_d {}^1\Pi_r ({}^{21}{}^2x_{\mu}^0 r_{25_1}^{\Pi} ({}^5x_{\omega}^0)$ ) может быть деформировано в ПП ООО  ${}^3\tilde{\Pi}_d {}^1\tilde{\Pi}_r ({}^{21}{}^2x_{\mu}^0 r_{25_1}^{\Pi} ({}^5x_{\omega}^0))$ , если  $\{{}^1D_r\}$  фрагментировано по предыдущему правилу.*».

## 4 Заключение

Для усиления интеллекта врача в медицинской диагностике в [10] предложены функциональные гибридные интеллектуальные диагностические системы как системы поддержки принятия диагностических решений с когнитивной визуализацией проблем. Применительно к ним в данной работе развит язык описания отношений и связей [4], в частности для предикативного кодирования словесно-вербальных знаний о состояниях и реакциях, описан когнитивный образ ОД и его функциональная деформация в регуляритивную, прагматическую информацию лаконичного оперативного образа состояния организма пациента.

## Литература

1. *Хачумов В. М., Виноградов А. Н.* Разработка новых методов непрерывной идентификации и прогнозирования состояния динамических объектов на основе интеллектуального анализа данных // Математические методы распознавания образов. — М.: Макс пресс, 2007. С. 548–550.
2. *Кобринский Б. А.* Аргументация и когнитивная графика в медицинской диагностической системе // XV Национальная конф. с международным участием по искусственному интеллекту: Труды конференции. — Смоленск: Универсум, 2016. Т. 2. С. 259–265.
3. *Vardell E., Bou-Crick C.* VisualDx: A visual diagnostic decision support tool // Medical Reference Services Quarterly, 2012. Vol. 31. No. 4. P. 414–424. doi: 10.1080/02763869.2012.724287.
4. *Kolesnikov A., Jasinski E., Rumovskaya S.* Predicative representations of relations and links of the intellectual operational-technological control in complex dynamic systems // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems: Research Papers Collection. — Minsk: Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020. Iss. 4. P. 43–50. [https://proc.ostis.net/wp-content/uploads/2020/03/OSTIS-2020\\_compressed.pdf](https://proc.ostis.net/wp-content/uploads/2020/03/OSTIS-2020_compressed.pdf).
5. *Кобринский Б. А.* К вопросу о формальном отражении образного мышления и интуиции специалиста в слабоструктурированной предметной области // Новости искусственного интеллекта, 1998. № 3. С. 64–76.
6. *Shepard R. N.* The mental image // Am. Psychol., 1978. Vol. 33. P. 125–137. doi: 10.1037/0003-066X.33.2.125.

7. Юнг К. Г. Структура психики и процесс индивидуации. — М.: Наука, 1996. 269 с.
8. Ошанин Д. А. Предметное действие и оперативный образ: Избранные психологические труды. — Воронеж: МОДЭК; М.: МПСИ, 1999. 512 с.
9. Спиридонов В. Ф. Психология мышления: решение задач и проблем. — М.: Генезис, 2006. 319 с.
10. Румовская С. Б., Колесников А. В., Литвин А. А. Визуальный метаязык описания решения диагностических проблем // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 4. С. 39–49. doi: 10.14357/08696527190404.

Поступила в редакцию 24.07.20

---

---

## SOLVING OF DIAGNOSTIC TASKS BY A DOCTOR

*S. B. Rumovskaya<sup>1</sup> and A. V. Kolesnikov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Kaliningrad Branch of the Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 5 Gostinaya Str., Kaliningrad 236000, Russian Federation

<sup>2</sup>Immanuel Kant Baltic Federal University, 14 A. Nevskogo Str., Kaliningrad 236041, Russian Federation

**Abstract:** The paper considers the specificities of individual solving of tasks by a doctor, in particular, the contribution of figurative thinking in the diagnosis. The experienced doctor has well-developed right-brain thinking and uses it actively in the diagnostic process. So, arguments are based not only on precise analysis but also on the right side of the mechanisms of reasoning, thereby forming verbal-haptic-visual images of diagnostic tasks and the state of the diagnostic object. These images are of the current situation, normal, and past experience from previous years. The paper describes a general scheme for formulation and solution of homogeneous diagnostic tasks, and the cognitive image of the diagnostic object and its functional strain to the operational images containing only required features for private actions on the diagnostic object.

**Keywords:** homogeneous diagnostic task; individual decision-making in medicine; cognitive image of the object of diagnosis; operational images of the object of diagnosis

**DOI:** 10.14357/08696527200304

### Acknowledgments

The reported study was funded by RFBR according to the research project No. 19-07-00250A.

### References

1. Khachumov, V. M., and A. N. Vinogradov. 2007. Razrabotka novykh metodov nepre-ryvnoy identifikatsii i prognozirovaniya sostoyaniya dinamicheskikh ob”ektov na osnove

- intellektual'nogo analiza dannykh [Development of new methods based on data mining for the continuous identification and prediction of the state of dynamic objects]. *Matematicheskie metody raspoznavaniya obrazov* [Mathematical methods of pattern recognition]. Moscow: Maks Press. 548–550.
2. Kobrinskiy, B. A. 2016. Argumentatsiya i kognitivnaya grafika v meditsinskoj diagnosticheskoy sisteme [Argumentation and cognitive graphics in the medical diagnostic system]. *XV Natsional'naya konf. s mezhdunarodnym uchastiem po iskusstvennomu intellektu* [15th National Conference (with International Participation) on Artificial Intelligence Proceedings]. Smolensk: Universum. 2:259–265.
  3. Vardell, E., and C. Bou-Crick. 2012. VisualDx: A visual diagnostic decision support tool. *Medical Reference Services Quarterly* 31(4):414–424. doi: 10.1080/02763869.2012.724287.
  4. Kolesnikov, A., E. Jasinski, and S. Rumovskaya. 2020. Predicative representations of relations and links of the intellectual operational-technological control in complex dynamic systems. *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems: Research Papers Collection*. 4:43–50. Available at: [https://proc.ostis.net/wp-content/uploads/2020/03/OSTIS-2020\\_compressed.pdf](https://proc.ostis.net/wp-content/uploads/2020/03/OSTIS-2020_compressed.pdf) (accessed July 1, 2020).
  5. Kobrinskiy, B. A. 1998. K voprosu o formal'nom otrazhenii obraznogo myshleniya i intuitsii spetsialista v slabostrukturovannoy predmetnoy oblasti [To the question of the formal reflection of creative thinking and intuition of the expert in substructuring subject area]. *Novosti iskusstvennogo intellekta* [News of artificial intelligence] 3:64–76.
  6. Shepard, R. N. 1978. The mental image. *Am. Psychol.* 33(2):125–137. doi: 10.1037/0003-066X.33.2.125.
  7. Yung, C. G. 1996. *Struktura psikhiki i protsess individuatsii* [The structure of the psyche and individuation]. Moscow: Nauka. 269 p.
  8. Oshanin, D. A. 1999. *Predmetnoe deystvie i operativnyy obraz: izbrannye psikhologicheskie trudy* [The objective act and operational pattern: The selected psychological works]. Voronezh: MODEK; Moscow: MPSI. 512 p.
  9. Spiridonov, V. F. 2006. *Psikhologiya myshleniya: reshenie zadach i problem* [Psychology of thinking: Problem and task solving]. Moscow: Genezis. 319 p.
  10. Rumovskaya, S. B., A. V. Kolesnikov, and A. A. Litvin. 2019. Vizual'nyy metazyazyk opisaniya resheniya diagnosticheskikh problem [Visual metalanguage for the description of the solving of diagnostic problems]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(4):39–49. doi: 10.14357/08696527190404.

Received July 24, 2020

## Contributors

**Rumovskaya Sophiya B.** (b. 1985) — Candidate of Science (PhD) in technology; scientist, Kaliningrad Branch of the Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 5 Gostinaya Str., Kaliningrad 236000, Russian Federation; [sophiyabr@gmail.com](mailto:sophiyabr@gmail.com)

**Kolesnikov Alexander V.** (b. 1948) — Doctor of Science in technology; professor, Institute of Physical and Mathematical Sciences and Information Technology, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14 A. Nevskogo Str., Kaliningrad 236041, Russian Federation; [avkolesnikov@yandex.ru](mailto:avkolesnikov@yandex.ru)



## УСТОЙЧИВОСТЬ САМОСИНХРОННОГО КОНВЕЙЕРА К ЛОГИЧЕСКИМ СБОЯМ В КОМБИНАЦИОННОЙ ЧАСТИ\*

*Ю. А. Степченков<sup>1</sup>, Ю. Г. Дьяченко<sup>2</sup>, Ю. В. Рождественский<sup>3</sup>,  
Н. В. Морозов<sup>4</sup>, Д. Ю. Степченков<sup>5</sup>, Д. Ю. Дьяченко<sup>6</sup>*

**Аннотация:** Оценивается вероятность повреждения данных в самосинхронных (СС) схемах, изготовленных по КМДП-технологии с проектными нормами 65 нм и ниже, из-за кратковременных логических сбоев (ЛС) в комбинационной части ступени СС-конвейера, вызванных внешними и внутренними факторами. Выявлены ситуации, способные привести к порче данных в конвейере из-за ЛС. Определен уровень естественной защищенности СС-конвейера от ЛС в его комбинационной части благодаря свойствам СС-схем (84,4% в наихудшем случае). Предложенные приемы топологического синтеза повышают сбоеустойчивость СС-конвейера до 85,6% от всех ЛС. Индикация состояния парафазного сигнала, инверсного по отношению к его слейсеру, как спейсера обеспечивает иммунитет СС-конвейера к 98,6% одиночных ЛС за счет увеличения его аппаратных затрат всего на 1%.

**Ключевые слова:** самосинхронная схема; сбоеустойчивость; конвейер

**DOI:** 10.14357/08696527200305

### 1 Введение

Проблема защиты цифровых микросхем, изготовленных по КМДП-технологии, от неблагоприятных факторов по важности стоит в одном ряду с проблемами снижения их энергопотребления и повышения быстродействия.

Долговременные эффекты связаны с накопленной дозой радиоактивного излучения. Они приводят к деградации параметров всех компонентов схемы

---

\* Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 075-15-2020-799.

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, YStepchenkov@ipiran.ru

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, diauga@mail.ru

<sup>3</sup>Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, YRogdest@ipiran.ru

<sup>4</sup>Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, NMorozov@ipiran.ru

<sup>5</sup>Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, stepchenkov@mail.ru

<sup>6</sup>Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, diaden87@gmail.com

и одинаково влияют на работоспособность синхронных и СС-схем. Кратковременные эффекты связаны с воздействием одиночных событий, например ядерной частицы, электромагнитного импульса и т. д. [1].

Самосинхронные схемы [2] менее чувствительны к кратковременным ЛС, чем их синхронные аналоги, благодаря запросу-ответному взаимодействию между частями схемы и строгому контролю окончания всех переключений в схеме, инициированных набором ее входов в текущей фазе.

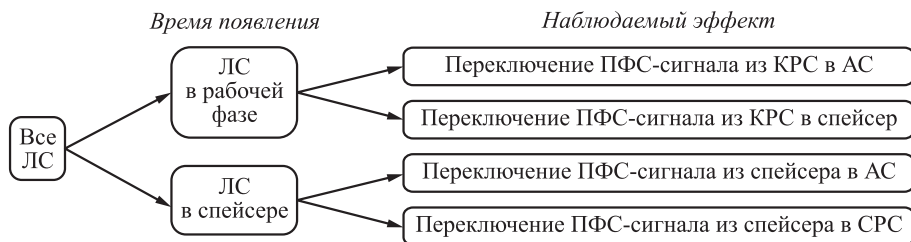
В работе [3] были рассмотрены физические причины появления ЛС в СС-схеме, обусловленные внешними и внутренними факторами, проанализированы и классифицированы их последствия.

В данной статье оценивается уровень устойчивости комбинационных СС-схем в составе конвейера к кратковременным ЛС, описанным в работе [3].

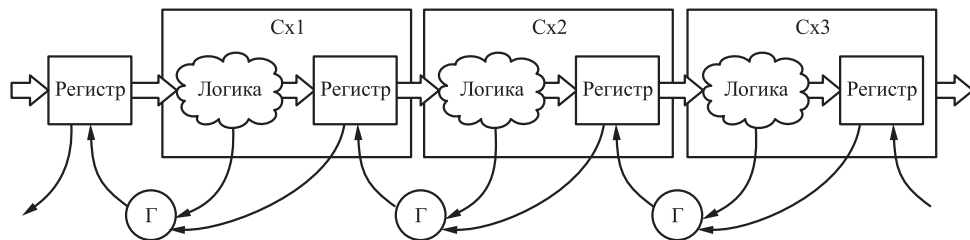
## 2 Вероятность распространения логических сбоев по самосинхронной схеме

Классификация ЛС в комбинационной СС-схеме, учитывающая их тип и время появления, показана на рис. 1. Она основана на классификации из [3], но учитывает только те ЛС, которые могут наблюдаться в КМДП-СС-схемах в технологии 65 нм и ниже. Практические СС-схемы имеют конвейерную структуру. Это обеспечивает максимальное быстродействие СС-схемы. Рассмотрим вероятность повреждения информации, обрабатываемой СС-конвейером, при появлении ЛС в комбинационной части его ступени, с учетом реализации регистра на Г-триггерах и индикации антиспейсера (АС) как спейсера.

Пусть для определенности СС-схема состоит из трех ступеней конвейера: Сх1–Сх3 (рис. 2). Комбинационная часть (КЧ, блок «Логика») ступени конвейера индицируется отдельно от регистра. Фазовые переходы регистра регулируются информационными выходами КЧ той же ступени и сигналом управления, формируемым Г-триггером на основе индикаторных выходов КЧ и регистра следующей ступени конвейера.



**Рис. 1** Классификация ЛС в комбинационных СС-схемах: ПФС — парафазный со спейсером; КРС — корректное рабочее состояние; СРС — сбойное рабочее состояние; АС — антиспейсер



**Рис. 2** Схема СС-конвейера

В первом приближении вероятности появления любого из ЛС на рис. 1 во время рабочей и спейсерной фазы считаем примерно равными (0,125). Рассмотрим случаи появления ЛС в КЧ ступени 2, соответствующие классификации ЛС (см. рис. 1), и оценим вероятность распространения ошибочных данных в конвейере на рис. 2. Для простоты будем считать, что каждое из рассматриваемых ниже событий может наблюдаться с вероятностью 0,5.

### 2.1 Переключение парафазного со спейсером сигнала из корректного рабочего состояния в антиспейсер в рабочей фазе

Антиспейсер в рабочей фазе при его индикации как спейсера может испортить данные только при последовательном наблюдении следующих событий:

- АС попал на вход регистра ступени 2, т.е. от значения сбойного ПФС-сигнала зависит КРС на информационных выходах КЧ ступени 2;
- регистр ступени 2 успел записать КРС;
- вход управления регистра ступени Сх2 еще не переключился в спейсер, АС запишется в один или несколько разрядов регистра ступени Сх2;
- общий индикатор регистра ступени Сх2 успел перейти в рабочую фазу;
- индикатор КЧ ступени Сх2 успел зафиксировать переключение сбойного ПФС-сигнала в КРС и общий индикатор КЧ Сх2 перешел в рабочую фазу;
- регистр ступени Сх1 успел перейти в спейсер до окончания ЛС и замены АС сбойного ПФС-сигнала его КРС.

В результате сбойный ПФС-сигнал по окончании ЛС перейдет в спейсер и КРС не восстановится в регистре ступени 2. Суммарная вероятность порчи данных этим ЛС равна  $P_{2,1} = 1/64$ .

### 2.2 Переключение парафазного со спейсером сигнала из корректного рабочего состояния в антиспейсер в спейсерной фазе

Парафазный со спейсером сигнал еще не успел перейти из КРС в спейсер. Искажение данных возможно при последовательном наблюдении следующих событий:

- АС попал на вход регистра ступени Сх2;
- вход управления регистра ступени Сх2 еще не переключился в спейсер, АС запишется в один или несколько разрядов регистра ступени Сх2 вместо КРС;
- АС не замаскировался логикой КЧ ступени Сх3;
- АС записался в регистр ступени Сх3;
- АС в регистре ступени Сх3 повлиял на работу следующей ступени.

Тогда суммарная вероятность порчи данных этим ЛС равна  $P_{2.2} = 1/32$ .

### **2.3 Переключение парафазного со спейсером сигнала из корректного рабочего состояния в спейсер в рабочей фазе**

Спейсер, сменивший КРС в рабочей фазе из-за ЛС, не может испортить обрабатываемые данные. Если регистр ступени Сх2 еще не успел записать КРС, то сбойный спейсер не изменит его состояния, но не позволит ему переключиться в рабочую фазу и вызовет приостановку конвейера до окончания ЛС. Если регистр ступени Сх2 уже успел записать КРС, то сбойный спейсер не изменит его состояния и не мешает ему перейти в рабочую фазу.

### **2.4 Переключение парафазного со спейсером сигнала из корректного рабочего состояния в спейсер в спейсерной фазе**

Парафазный со спейсером сигнал не успел перейти из КРС в спейсер. Он ни при каких условиях не испортит данные в конвейере и не приведет к его «зависанию».

### **2.5 Переключение парафазного со спейсером сигнала из спейсера в антиспейсер в рабочей фазе**

Парафазный со спейсером сигнал не успел перейти из спейсера в КРС. В этом случае физическая причина ЛС изменила состояние обеих частей ПФС-сигнала, из-за чего он не сможет перейти в новое КРС до окончания ЛС. Антиспейсер индицируется как спейсер, поэтому общий индикатор КЧ ступени Сх2 не переключится в рабочую фазу до окончания ЛС и не разрешит регистру ступени Сх1 переключиться в спейсер. Конвейер приостановится, но обрабатываемые данные не испортятся.

### **2.6 Переключение парафазного со спейсером сигнала из спейсера в антиспейсер в спейсерной фазе**

Парафазный со спейсером сигнал уже перешел из КРС в спейсер. Но АС индицируется как спейсер, поэтому ситуация не опасная.

## 2.7 Переключение парафазного со спейсером сигнала из спейсера в сбойное рабочее состояние в рабочей фазе

Появившееся из-за ЛС рабочее состояние не совпадает с ожидаемым КРС. Поскольку причина ЛС не может повлиять на обе части ПФС-сигнала биполярно [3], под влиянием КРС входов сбойный ПФС-сигнал перейдет в АС. Искажение данных возможно при наблюдении следующих событий:

- СРС попал на вход регистра ступени Сх2;
- регистр ступени Сх2 успел записать СРС до появления на его входах АС;
- общий индикатор регистра ступени Сх2 успел перейти в рабочую фазу;
- общий индикатор КЧ ступени Сх2 успел перейти в рабочую фазу до появления АС вместо СРС на сбойном ПФС-сигнале;
- регистр ступени Сх1 успел перейти в спейсер до окончания ЛС и замены АС состояния сбойного ПФС-сигнала КРС.

В результате сбойный ПФС-сигнал по окончании ЛС перейдет в спейсер и КРС не восстановится в регистре ступени Сх2. Суммарная вероятность порчи данных или останова конвейера из-за этого ЛС равна  $P_{2.7} = 1/32$ .

## 2.8 Переключение парафазного со спейсером сигнала из спейсера в сбойное рабочее состояние в спейсерной фазе

Сбойное рабочее состояние ПФС-сигнала не совпадает с предыдущим КРС. Искажение данных возможно при последовательном наблюдении следующих событий:

- СРС попал на выход КЧ ступени Сх2;
- вход управления регистра ступени Сх2 еще разрешает запись в регистр, КРС в разряде регистра Сх2 заменится АС;
- АС попал на выход КЧ ступени Сх3;
- вход управления регистра ступени Сх3 разрешает запись АС в регистр Сх3;
- АС в регистре ступени Сх3 повлиял на работу следующей ступени.

Суммарная вероятность порчи данных или останова конвейера из-за этого ЛС равна  $P_{2.8} = 1/32$ .

Суммарная вероятность того, что одиночный ЛС в КЧ ступени конвейера, регистр в которой построен на обычных Г-триггерах, станет критическим и приведет к порче данных в конвейере или его останову, равна

$$P_{\Sigma} = 0,125(P_{2.1} + P_{2.2} + P_{2.7} + P_{2.8}) = 0,125 \left( \frac{1}{64} + \frac{1}{32} + \frac{1}{32} + \frac{1}{32} \right) \approx 0,014.$$

Таким образом, комбинационные КМДП-СС-схемы в качестве КЧ ступеней СС-конвейера, выходные регистры которых реализованы на Г-триггерах

с элементом «равнозначность» в качестве индикатора, не чувствительны к 98,6% одиночных ЛС. Анализ показывает, что без индикации АС как спейсера комбинационные СС-схемы устойчивы к 85,6% кратковременных ЛС, классифицированных на рис. 1. При несоблюдении указанных в [3] правил топологического проектирования устойчивость комбинационных СС-схем в составе СС-конвейера ухудшается до уровня 84,4%.

### 3 Заключение

Благодаря двухфазной дисциплине работы, ПФС-кодированию информационных сигналов, строгой индикации окончания инициированных переключений всех элементов схемы в текущей фазе и запрос-ответному взаимодействию СС-схемы обладают естественной устойчивостью к 84,4% одиночных ЛС, вызванных внешними и внутренними источниками.

Предложенные методы — схмотехнический (индикация состояния ПФС-сигнала, противоположного его спейсеру) и топологический (размещение компонентов и трасс ПФС-сигналов в непосредственной близости друг к другу) — увеличивают устойчивость СС-схем к одиночным кратковременным ЛС до 98,6%.

### Литература

1. *Holmes-Siedle A., Adams L.* Handbook of radiation effects. — 2nd ed. — Oxford University Press, 2002. 640 p.
2. *Kishinevsky M., Kondratyev A., Taubin A., Varshavsky V.* Concurrent hardware: The theory and practice of self-timed design. — J. Wiley & Sons, 1994. 368 p.
3. *Степченко Ю. А., Дьяченко Ю. Г., Рождественский Ю. В. и др.* Устойчивость самосинхронных комбинационных схем к кратковременным логическим сбоям // Системы и средства информатики, 2020. Т. 30. № 2. С. 4–10.

*Поступила в редакцию 25.03.20*

---

---

## SELF-TIMED PIPELINE IMMUNITY TO SOFT ERRORS IN ITS COMBINATIONAL PART

*Yu. A. Stepchenkov, Yu. G. Diachenko, Yu. V. Rogdestvenski, N. V. Morozov,  
D. Yu. Stepchenkov, and D. Yu. Diachenko*

Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** The paper estimates the data corruption probability in self-timed circuits manufactured by a standard 65-nanometer and below CMOS process because of short-term soft errors that occurred in the pipeline combinational part. Soft errors appear as a result of the external causes and internal noise sources. The paper analyzes events able to lead to data corruption in the pipeline due to soft errors. In the worst case, self-timed pipeline is naturally immune to 84.4% soft errors in its combinational part due to self-timed circuit features.

Proposed layout synthesis techniques increase soft error tolerance of the pipeline up to 85.6%. Indication of the state of the paraphase signal, inverted to its spacer, as spacer provides self-timed pipeline immunity to 98.6% of single soft errors at the expense of pipeline hardware complexity by less than 1%.

**Keywords:** self-timed circuit; soft error tolerance; pipeline

**DOI:** 10.14357/08696527200305

## Acknowledgments

The research was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 075-15-2020-799).

## References

1. Holmes-Siedle, A., and L. Adams. 2002. *Handbook of radiation effects*. 2nd ed. Oxford University Press. 640 p.
2. Kishinevsky, M., A. Kondratyev, A. Taubin, and V. Varshavsky. 1994. *Concurrent hardware: The theory and practice of self-timed design*. J. Wiley & Sons. 368 p.
3. Stepchenkov, Yu. A., Yu. G. Diachenko, Yu. V. Rozhdestvenski, et al. 2020. Ustoychivost' samosinkhronnykh kombinatsionnykh skhem k kratkovremennym logicheskim sboyam [Self-timed combinational circuit tolerance to short-term soft errors]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 30(2):4–10.

Received March 25, 2020

## Contributors

**Stepchenkov Yuri A.** (b. 1951) — Candidate of Science (PhD) in technology, leading scientist, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; YStepchenkov@ipiran.ru

**Diachenko Yuri G.** (b. 1958) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; diaura@mail.ru

**Rogdestvenski Yuri V.** (b. 1952) — Candidate of Science (PhD) in technology, leading scientist, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation, Moscow 119333, Russian Federation; YRogdest@ipiran.ru

**Morozov Nikolai V.** (b. 1956) — senior scientist, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; NMorozov@ipiran.ru

**Stepchenkov Dmitri Yu.** (b. 1973) — senior scientist, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; stepchenkov@mail.ru

**Diachenko Denis Y.** (b. 1987) — research-engineer, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; diaden87@gmail.com

## СТАТИЧЕСКИЙ СПОСОБ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОГО ВСТРАИВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ LSB

*И. А. Кривошеев<sup>1</sup>, М. А. Линник<sup>2</sup>*

**Аннотация:** Предлагается новый подход к сокрытию информации на основе метода LSB (least significant bit). Предложен статический способ встраивания информации в цветное изображение, основанный на матричном представлении отдельных блоков и оценке модуля их детерминанта. Численным моделированием была оценена возможность предложенного способа противостоять различным методам стегоанализа. Показано его преимущество как в степени защищенности, так и в объеме встраиваемой информации. Данный алгоритм может быть использован для встраивания информации в изображения форматов без сжатия информации.

**Ключевые слова:** стеганография; стегоконтейнер; стегоанализ; детерминант; LSB; RS-стегоанализ; анализ с использованием критерия хи-квадрат; анализ битовых слоев

**DOI:** 10.14357/08696527200306

### 1 Введение

Стеганографическое встраивание [1] стало перспективной областью информационной безопасности и может использоваться для решения многих задач, например защиты авторского права, путем встраивания цифровой подписи, незаметной человеческому глазу. Помимо этого стеганографию можно использовать для передачи информации.

Одна из главных проблем стеганографии — поиск наиболее универсального и при этом эффективного метода стеганографического встраивания, которое будет защищено от атак [2].

Максимальный объем данных, который можно встроить в объект (стегоконтейнер) при условии, что его изменения не будут критическими, называется пропускной способностью в контексте стеганографии.

В настоящее время совершенно очевидно, что компьютерная стеганография стала одним из самых мощных инструментов скрытого встраивания защищаемых данных, которые могут храниться и передаваться в открытом незащищенном

---

<sup>1</sup>Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук; Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, igork@as.khb.ru

<sup>2</sup>Вычислительный центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, linnik.max1995@mail.ru



виде [3–5]. Поэтому наибольший интерес для исследователей и пользователей представляет совершенствование методов стеганографического встраивания скрываемой информации.

На сегодняшний день при встраивании информации в цветное изображение широко распространен метод на основе подмены наименее значащего бита (LSB) [6, 7]. Основа данного метода заключается в том, что при встраивании информации в цветное изображение проводится замена от одного до четырех младших битов в байтах пикселей изображения, что для человеческого глаза практически незаметно.

У метода есть огромные преимущества в объеме встраиваемой информации и быстродействии из-за его простоты [8]. Однако простота метода позволяет использовать его в полной мере из-за его слабости к отдельным методам стегоанализа

## 2 Постановка задачи

Если в стеганографии в качестве контейнера используется цветное изображение, то одним из вариантов отдельного элемента является пиксель. Рассмотрим цветовое пространство RGB. Каждый пиксель в нем подразделяется на три цветовых области: красную (R — red), зеленую (G — green) и синюю (B — blue), каждая из которых характеризуется отдельным числом от 0 до 255.

Эти числа можно представить в двоичном коде с использованием восьми знаков из нулей и единиц. При замене последнего (младшего) бита разница при изменении цвета будет незаметна человеческому глазу. Благодаря этому обстоятельству можно добавлять информацию в данные биты и таким образом передавать ее [7].

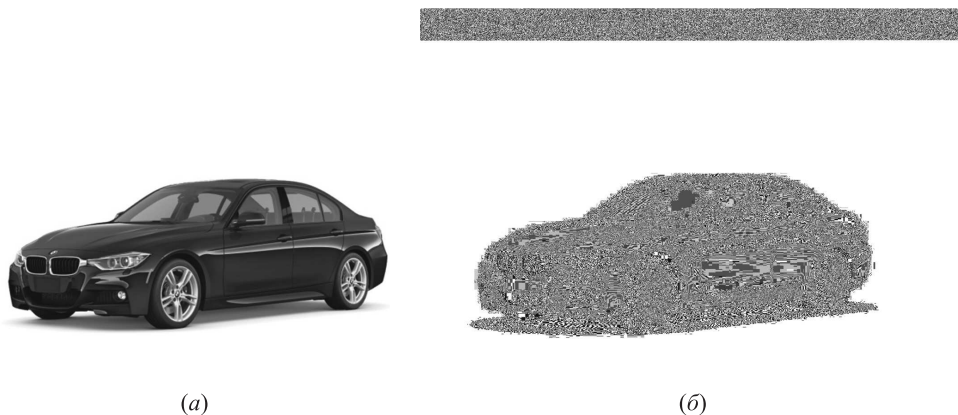
Метод при своей простоте и эффективности имеет и значительные минусы. На передачу информации при использовании алгоритма LSB могут повлиять самые незначительные искажения контейнера. При искажении контейнера меняется значение цвета, а оно служит ключевой единицей при извлечении встроенной информации [9]. По этой причине для данного метода подходят только изображения без сжатия информации.

Кроме того, он хорошо обнаруживается большинством стеганографических методов.

Один из распространенных методов стегоанализа — анализ битовых срезов. В данном способе рассматриваются изображения, построенные с помощью значений отдельных битовых слоев [5].

В ряде изображений четко различимы контуры объектов, поэтому дополнительная встроенная информация может быть заметна невооруженным глазом. На рис. 1 показан пример такого встраивания.

Как видно из данного примера, даже при анализе такими простыми методами информация уже становится заметна. В более сложных случаях эффективные



**Рис. 1** Иллюстрация встроенной информации при использовании анализа битовых слоев: (а) контейнер, в который встроена информация методом LSB; (б) битовый слой данного изображения (встроено 10% информации от общего объема)

результаты дают статистические методы стегоанализа, такие как стегоанализ на основе критерия хи-квадрат и RS-стегоанализ [3, 4]. Поэтому при разработке нового способа необходимо учесть приведенные особенности и недостатки, а также обратить внимание на контейнер, который при использовании цветных изображений может иметь существенно разные исходные данные, влияющие на результат сокрытия информации.

Отдельные попытки усовершенствования метода LSB делались в [10, 11]. Выбранное направление оказалось интересным, однако полученные результаты не давали полной уверенности в надежности сокрытия информации. Поэтому у исследователей остался вопрос относительно возможности усовершенствования метода по части повышения степени защищенности.

### 3 Алгоритм разработанного способа

Следует напомнить, что разработанный способ берет за основу LSB-алгоритм. Суть данного предложения заключается в следующем.

Выбранный контейнер цветного изображения делится на квадратные блоки одинакового размера. Для более детальной обработки лучше выбирать блоки минимального размера, например  $2 \times 2$  или  $3 \times 3$  пикселя. Определяется значение пикселя в каждом блоке. При этом удобно использовать известный подход, описанный в [12], с принятыми обозначениями. Можно задаться и собственным представлением с возможностью применения ко всем пикселям каждого блока. Далее в каждом блоке вычисляется значение модуля детерминанта, которое связано с координатами этого блока в используемом контейнере. Затем выполня-

ется ранжирование получившихся значений модуля детерминанта с сохранением координат их расположения.

Встраивание, в свою очередь, выполняется в те блоки, в которых значение модуля детерминанта максимально. Значение модуля детерминанта используется для того, чтобы встраивание в самые яркие или самые темные области проводилось в последнюю очередь либо вообще не проводилось. Использование такого подхода маскирует контейнер. Этим ограничивается объем встраиваемой информации.

Пошаговый алгоритм можно представить следующим образом.

*Встраивание:*

**Шаг 1.** Разбиение пикселей изображения контейнера на блоки  $A$  определенного размера (например,  $2 \times 2$ ).

Число зон для случая разбиения на блоки  $2 \times 2$  пикселей вычисляется по следующей формуле:

$$n = \left\lfloor \frac{w}{2} \right\rfloor \cdot \left\lfloor \frac{h}{2} \right\rfloor, \quad (1)$$

где  $w$  и  $h$  — ширина и высота изображения в пикселях;  $\lfloor \cdot \rfloor$  — округление до ближайшего целого.

**Шаг 2.** Значение пикселя в зоне вычисляется, например, по формуле, приведенной в [12]:

$$a_{i,j} = 0,299R + 0,587G + 0,114B, \quad (2)$$

где  $i \in 0 \dots 1$ ,  $j \in 0 \dots 1$  — координаты пикселя в блоке;  $R \in 0 \dots 255$ ,  $G \in 0 \dots 255$  и  $B \in 0 \dots 255$  — цветовые компоненты пикселя.

**Шаг 3.** Для каждой зоны вычисляется значение детерминанта

$$\det |D_k|,$$

где  $k \in 0 \dots n$ .

**Шаг 4.** Далее проводится ранжирование значений  $D_k$  по убыванию с сохранением координат.

**Шаг 5.** Встраивание конфиденциальной информации происходит в отсортированные блоки  $A$ , которые имеют максимальное значение  $D_k$  в три компоненты цвета: в красную, синюю и зеленую, т. е. на каждый пиксель приходится 3 бита информации. В блок размера  $2 \times 2$  пикселя встраивается 12 бит информации.

Таким образом, максимальная информация, которую можно встроить в изображение для блока размером  $2 \times 2$  пикселя, вычисляется следующим образом:

$$V = \left( \left\lfloor \frac{w}{2} \right\rfloor \cdot \left\lfloor \frac{h}{2} \right\rfloor \cdot 3 \right) \cdot 2^2.$$

Исходя из полученного объема возможного встраивания информации, можно скорректировать его или выбрать необходимый, чтобы получить боольшую защищенность при стегоанализе.

*Извлечение* происходит в обратном порядке.

**Шаг 1.** Разбиение пикселей изображения на блоки  $A$  размером  $2 \times 2$ . Число блоков вычисляется по формуле (1).

**Шаг 2.** Значение пикселя в зоне вычисляется по формуле (2).

**Шаг 3.** Для каждой зоны вычисляется значение дискриминанта по выбранной формуле.

**Шаг 4.** Сортировка значений  $D_k$  по убыванию.

**Шаг 5.** Последовательно из блока  $D_k$  извлекается встроенное число битов информации.

## 4 Численное моделирование

Ранжирование группы изображений

№ изображения	Сумма площадей пикселей области / общую сумму площадей пикселей
1	0
2	$0,5 \cdot 10^{-5}$
3	$33 \cdot 10^{-5}$
4	$318 \cdot 10^{-5}$
5	$334 \cdot 10^{-5}$
6	$334 \cdot 10^{-5}$
7	$557 \cdot 10^{-5}$
8	$810 \cdot 10^{-5}$
9	$989 \cdot 10^{-5}$
10	$999 \cdot 10^{-5}$

Для проведения численного моделирования был выбран идентификационный параметр, указывающий отличие одного цветного изображения от другого. На сегодняшний день существует множество подобных параметров [1, 10], однако каждый исследователь вправе выбрать такой, который может удовлетворять его требованиям. По этому параметру в таблице приведено ранжирование выбранных цветных изображений.

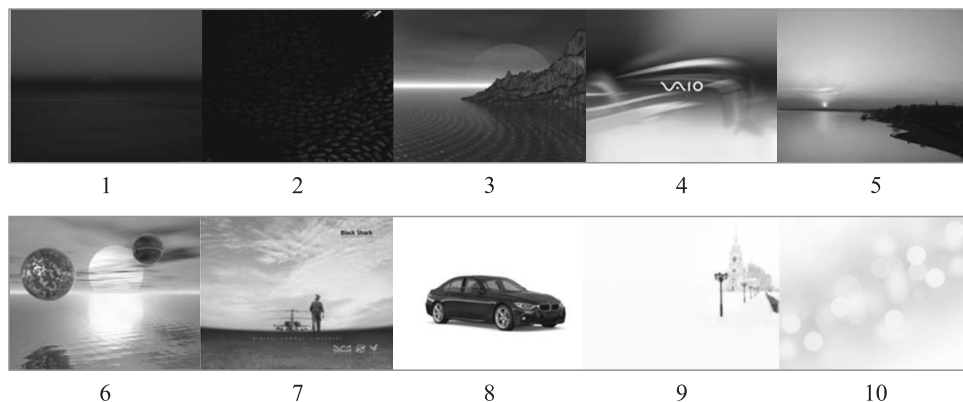
Выбрана группа из десяти различных цветных изображений, каждое размером  $1024 \times 1280$  пикселей (рис. 2). Встраивание различного объема информации проводилось в каждое цветное изображение. Затем оценивались параметры различных способов стегоанализа.

Рассмотрим использование стегоатаки на основе анализа битовых срезов. На рис. 3 показаны битовые срезы контейнеров оригинального LSB-метода и разработанного способа при условии, что в них встроен одинаковый объем информации.

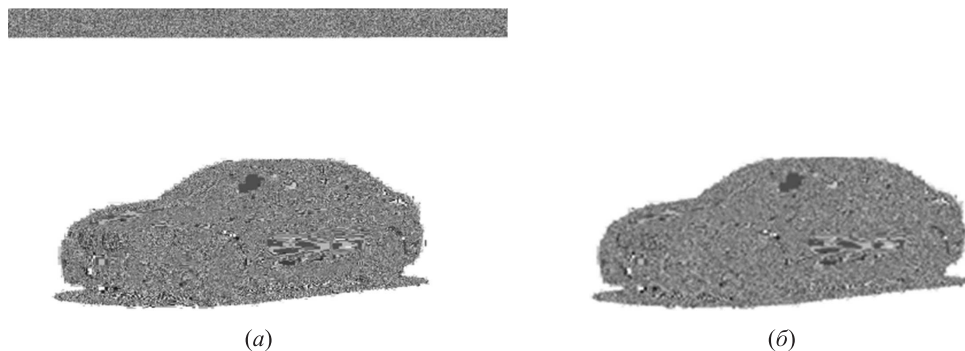
На рис. 3 видно, что разработанная модификация позволяет скрыть информацию при использовании данного метода стегоанализа.

Рассмотрим результаты других широко используемых методов стегоанализа.

RS-стегоанализ относится к статистическим методам стегоанализа. Изображение разбивается на группы пикселей. Деление на группы происходит после



**Рис. 2** Группа изображений



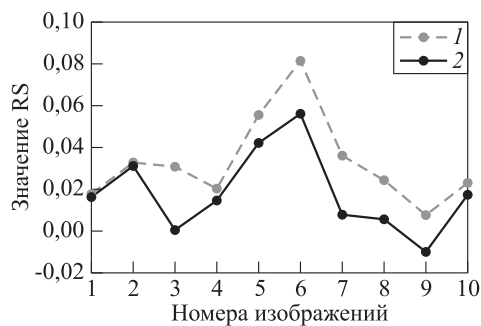
**Рис. 3** Битовый срез контейнеров с 10% внедренной информации: (а) стандартный метод LSB; (б) модифицированный метод LSB

применения флиппинг-процедуры с применением введенной маски и дискриминант-функции. После проведения расчетов анализируются значения дискриминант-функции до и после применения процедуры флиппинга.

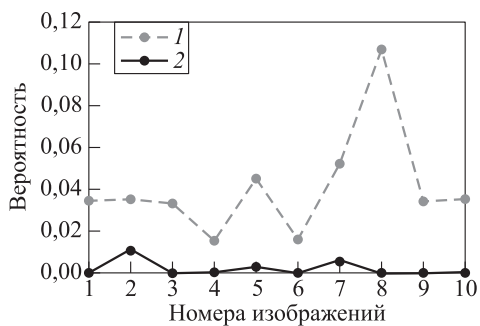
Работа этого алгоритма строится на предположении равенства регулярных и сингулярных групп в пустом изображении после применения процедуры флиппинга. Иначе считается, что в изображение встроена информация.

На рис. 4 показаны графики значений RS-стегоанализа для 10 изображений. Значение RS в данном способе коррелирует с процентом измененной информации [2].

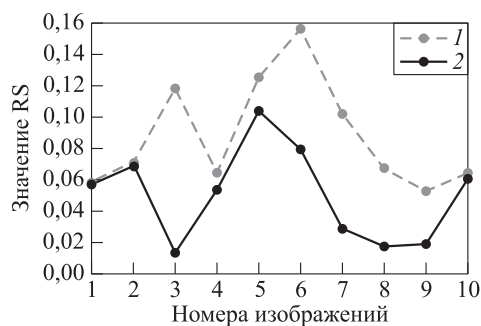
Как видно из графиков, встраивание малого объема информации имеет практически нулевые значения RS, что, в свою очередь, может свидетельствовать о защите от использования данного метода, так как атакующим полученные



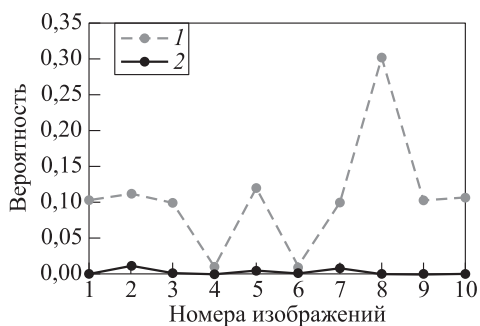
(a)



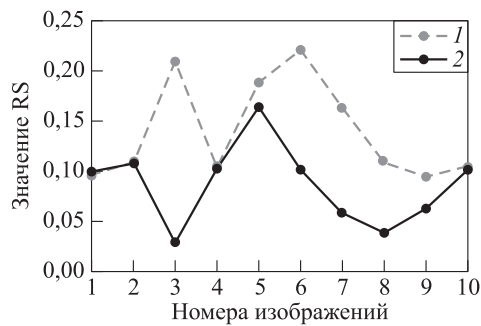
(a)



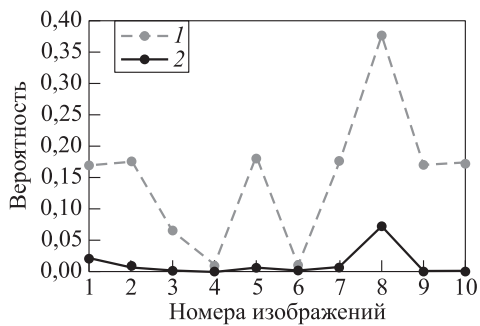
(б)



(б)



(в)



(в)

**Рис. 4** Результаты RS-стегаанализа для стандартного LSB (1) и для разработанной модификации (2): (а) при заполнении 10% объема контейнера; (б) при заполнении 30% объема контейнера; (в) при заполнении 50% объема контейнера

**Рис. 5** Результаты стегаанализа с использованием критерия хи-квадрат для стандартного LSB (1) и разработанной модификации (2): (а) при заполнении 10% объема контейнера; (б) при заполнении 30% объема контейнера; (в) при заполнении 50% объема контейнера

результаты могут быть восприняты как отсутствие встроенной информации или как шум.

Следующий способ стегоанализа основан на применении критерия хи-квадрат [5]. Он также относится к статистическим видам стегоанализа и оценивает предположение о том, что в пустом контейнере распределение цвета происходит таким образом, что вероятность одновременного появления соседних цветов, т. е. тех, которые различаются на один младший бит, незначительна. В противном случае делается вывод о том, что в контейнере находятся посторонние данные.

На рис. 5 представлены графики, показывающие значения распределения хи-квадрат на изображениях, полученных при использовании стандартного встраивания методом LSB и с применением разработанного алгоритма, для случаев встраивания разного объема информации.

Из графиков, приведенных на рис. 5, видно, что значение вероятности для предложенного способа равно нулю на всем промежутке. Таким образом, можно сделать вывод о том, что способ является защищенным к применению атак на основе критерия хи-квадрат.

## 5 Обсуждение результатов и выводы

По приведенным результатам численного моделирования можно сделать предварительный вывод о том, что предложенный статический способ сокрытия информации достаточно хорошо справляется с защитой от стеганографических атак с использованием широко известных способов стегоанализа.

Эксперименты показали, что предложенный способ полностью защищен от метода анализа битовых срезов и от анализа с использованием критерия хи-квадрат, RS-стегоанализа, анализа отношения цветов при условии, что происходит встраивание небольших объемов информации.

В отличие от других модификаций метода LSB предложенный способ более универсален и позволяет учесть особенности конкретного контейнера. Кроме того, предложенный способ позволяет встраивать большие объемы информации, чем классический LSB.

Необходимо отметить, что эффективность работы алгоритма зависит от особенностей конкретного цветного изображения. Если в изображении есть большие области слишком ярких либо слишком темных цветов, то существует опасность возникновения такой ситуации, при которой информация будет записываться подряд, что понизит стеганостойкость.

## Литература

1. *Коханович Г. Ф., Пузыренко А. Ю.* Компьютерная стеганография. Теория и практика. — Киев: МК-Пресс, 2006. 288 с.
2. *Абазина Е. С., Ерунов А. А.* Цифровая стеганография: состояние и перспективы // Системы управления, связи и безопасности, 2016. № 2. С. 182–201.

3. *Westfield A., Pfitzmann A.* Attacks on steganographic systems: Breaking the steganographic utilities EzStego, Jsteg, Steganos, and S-Tools — and some lessons learned // Information hiding / Ed. A. Pfitzmann. — Lecture notes in computer Science ser. — Springer, 1999. Vol. 1768. P. 61–76.
4. *Fridrich J., Goljan M., Du R.* Reliable detection of LSB steganography in color and grayscale images // Workshop on Multimedia and Security: New Challenges Proceedings. — Binghamton, NY, USA: State University of New York, 2001. P. 27–30. doi: 10.1145/1232454.1232466.
5. *Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В.* Цифровая стеганография. — М.: Солон-Пресс, 2002. 272 с.
6. *Fridrich J., Du R., Meng L.* Steganalysis of LSB encoding in color images // IEEE Conference (International) on Multimedia and Expo. — IEEE Computer Society Press, 2000. Vol. 3. P. 1279–1282.
7. *Шмаев В. Б.* Современная стеганография. Принципы, основные носители и методы противодействия, 2005. <https://docplayer.ru/29953095-Sovremennaya-steganografiya-principy-osnovnye-nositeli-i-metody-protivodeystviya.html>.
8. *Urbanovich N., Plaskovitsky V.* The use of steganographic techniques for protection of intellectual property rights // New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation: 7th Conference (International). — Zakopane, Poland, 2011. P. 147–148.
9. *Журавель И. М.* Краткий курс теории обработки изображений, 2019. <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/index.php>.
10. *Кривошеев И. А., Линник М. А.* К вопросу об оценке устойчивости стеганографической системы // Ученые заметки ТОГУ, 2017. Т. 8. № 2. С. 433–437.
11. *Кривошеев И. А., Линник М. А.* К вопросу об оценке пропускной способности стеганографической системы // Информационные технологии и высокопроизводительные вычисления: Мат-лы IV Всеросс. научн.-практич. конф. — Хабаровск: ТОГУ, 2017. С. 94–97.
12. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. — М.: Техносфера, 2005. 1072 с.

*Поступила в редакцию 21.04.20*

---

---

## STATIC METHOD FOR STEGANOGRAPHIC EMBEDDING BASED ON LEAST SIGNIFICANT BIT

*I. A. Krivosheev<sup>1</sup> and M. A. Linnik<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Mining Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 51 Turgenev Str., Khabarovsk 680000, Russian Federation

<sup>2</sup>Computing Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 65 Kim Yu Chen Str., Khabarovsk 680000, Russian Federation

**Abstract:** A new approach to information hiding based on the LSB (least significant bit) method is proposed. A static method for embedding information



in a color image based on the matrix representation of individual blocks and estimating their determinant modulus is proposed. Numerical modeling evaluated the possibility of the proposed method to withstand various methods of steganalysis. Its advantage is shown both in the degree of security and in the amount of embedded information. This algorithm can be used for embedding in image by formats without compressing information.

**Keywords:** steganography; stego container; steganalysis; determinant; LSB; RS-steganalysis; chi-squared test steganalysis; visual analysis of bit slices

**DOI:** 10.14357/08696527200306

## References

1. Kokhanovich, G. F., and A. Yu. Puzyrenko. 2006. *Komp'yuternaya steganografiya. Teoriya i praktika* [Computer steganography. Theory and practice]. Kiev: MK-Press. 288 p.
2. Abazina, E. S., and A. A. Erunov. 2016. Tsifrovaya steganografiya: sostoyanie i perspektivy [Digital steganography: Status and development outlook]. *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti* [Systems of Control, Communication and Security] 2:182–201.
3. Westfield, A., and A. Pfitzmann. 1999. Attacks on steganographic systems: Breaking the steganographic utilities EzStego, Jsteg, Steganos and S-Tools — and some lessons learned. *Information hiding*. Ed. A. Pfitzmann. Lecture notes in computer science ser. Springer. 1768:61–76.
4. Fridrich, J., M. Goljan, and R. Du. 2001. Reliable detection of LSB steganography in color and grayscale images. *Workshop on Multimedia and Security: New Challenges Proceedings*. Binghamton, NY: State University of New York. 27–30. doi: 10.1145/1232454.1232466.
5. Gribunin, V. G., I. N. Okov, and I. V. Turintsev. 2002. *Tsifrovaya steganografiya* [Digital steganography]. Moscow: Solon-Press. 272 p.
6. Fridrich, J., R. Du, and L. Meng. 2000. Steganalysis of LSB encoding in color images. *Conference (International) on Multimedia and Expo*. IEEE Computer Society Press. 3:1279–1282.
7. Shmaev, V. B. 2005. Sovremennaya steganografiya. Printsipy, osnovnye nositeli i metody protivodeystviya [Modern steganography. Principles, main carriers and methods of counteraction]. Available at: <https://docplayer.ru/29953095-Sovremennaya-steganografiya-principy-osnovnye-nositeli-i-metody-protivodeystviya.html> (accessed April 22, 2020).
8. Urbanovich, N., and V. Plaskovitsky. 2011. The use of steganographic techniques for protection of intellectual property rights. *New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation: 7th Conference (International)*. Zakopane, Poland. 147–148.
9. Zhuravel', I. M. 2019. Kratkiy kurs teorii obrabotki izobrazheniy [Image processing toolbox]. Available at: <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/index.php> (accessed April 22, 2020).
10. Krivosheev, I. A., and M. A. Linnik. 2017. K voprosu ob otsenke ustoychivosti steganograficheskoy sistemy [On the issue of assessing the stability of a steganographic system]. *Uchenye zametki TOGU* [TOGU Science Notes] 8(2):433–437.

11. Krivosheev, I. A., and M. A. Linnik. 2017. K voprosu ob otsenke propusknoy sposobnosti stenograficheskoy sistemy [On the issue of assessing the bandwidth of a shorthand system]. *Informatsionnyye tekhnologii i vysokoproizvoditel'nye vychisleniya: mat-ly IV Vseross. nauchn.-praktich. konf.* [Information Technology and High Performance Computing: Materials of the 4th All-Russian Scientific and Practical Conference]. Khabarovsk: TOGU. 94–97.
12. Gonsales, R., and R. Vuds. 2005. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy* [Digital image processing]. Moscow: Tekhnosfera. 1072 p.

*Received April 21, 2020*

## **Contributors**

**Krivosheev Igor A.** (b. 1949)— Doctor of Science in technology, leading scientist, Mining Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 51 Turgenev Str., Khabarovsk 680000, Russian Federation; igork@as.khb.ru

**Linnik Maxim A.** (b. 1995) — junior scientist, Computing Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 65 Kim Yu Chen Str..Khabarovsk 680000, Russian Federation; linnik.max1995@mail.ru

## МЕТОДИКА ТЕМПОРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ НЕСТАБИЛЬНОСТИ МАШИННОГО ПЕРЕВОДА

*А. Ю. Егорова<sup>1</sup>, И. М. Зацман<sup>2</sup>, М. Г. Кружков<sup>3</sup>, В. А. Нуриев<sup>4</sup>*

**Аннотация:** Изложены основные положения методики темпоральной оценки неустойчивости нейронного машинного перевода (НМП), позволяющей оценить изменение НМП одних и тех же текстов во времени. Дается описание эксперимента по исследованию НМП с использованием 250 русскоязычных текстовых фрагментов. Каждый фрагмент многократно переводился на французский язык в течение одного года с шагом в один месяц посредством системы НМП Google. Полученные переводы были проаннотированы с помощью надкорпусной базы данных (НБД), чтобы зафиксировать сделанные в переводе ошибки, если таковые имели место. В итоге сформировалась серия из 12 аннотаций для переводов каждого из 250 текстовых фрагментов. В последней аннотации ставится рубрика, обозначающая степень неустойчивости НМП применительно ко всей серии переводов. Эта рубрика характеризует изменения качества перевода или указывает на их отсутствие. Цель статьи — описать методику темпоральной оценки неустойчивости НМП и результаты ее применения.

**Ключевые слова:** нейронный машинный перевод; неустойчивость; оценка качества машинного перевода; лингвистическое аннотирование; виды неустойчивости

**DOI:** 10.14357/08696527200307

### 1 Введение

Во втором десятилетии XXI в. началось широкомасштабное применение методов и технологий машинного обучения [1], в том числе в системах машинного перевода (МП). М. Сако предлагает рассматривать это событие как границу между двумя основными этапами автоматизации: с использованием и без использования машинного обучения. Характеризуя ключевые отличия первого этапа, т. е. без использования машинного обучения, она отмечает две его черты. Во-первых, в интеллектуальной работе человека можно условно выделить два

---

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, ann.shurova@gmail.com

<sup>2</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, izatsman@yandex.ru

<sup>3</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, magnit75@yandex.ru

<sup>4</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, nurieff.v@gmail.com

класса принципиально разных, но часто взаимосвязанных задач: рутинные и нестандартные. Для решения первых могут быть разработаны методы, алгоритмы и программы, на основе которых проводится автоматизация их решения. Нестандартные задачи часто требуют применения имплицитных знаний человека для их решения, его интуиции, творчества и целенаправленной креативности, что существенно затрудняет их автоматизацию [2, с. 26]. Широко известным примером применения имплицитных знаний человека служит переводческая деятельность человека, которая до настоящего времени не поддается полной автоматизации, что особенно наглядно проявляется при МП художественной литературы [3].

Во-вторых, согласно М. Сако, автоматизация рутинных задач иногда влечет и увеличение объема нестандартных задач, которые невозможно решить без участия человека. С одной стороны, автоматизация рутинных информационных трансформаций заменяет ручную обработку данных, с другой стороны, рост спроса на их автоматизацию приводит к увеличению объема нестандартных трансформаций [2].

Появление технологий машинного обучения [4, 5] как одно из основных отличий второго этапа автоматизации привело к тому, что указанные две характерные черты первого этапа (деление на рутинные и нестандартные задачи, увеличение объема нестандартных при автоматизации рутинных) претерпели существенные изменения, а также к появлению новых исследовательских задач. Прежнее различие между рутинными и нестандартными задачами с точки зрения возможностей их автоматизации требует переосмысления. Например, машинное обучение искусственной нейронной сети (ИНС) и ее функционирование после обучения меняет смысловое содержание традиционного понятия автоматизации. С появлением технологий машинного обучения стало возможным не только автоматизировать решение задач с помощью программ, созданных человеком, но и обучить ИНС решать их. В результате обучения ИНС формируются алгоритмы принципиально нового класса, которые получили название *data-driven*, т. е. определяемые данными в процессе обучения, а не создаваемые человеком.

Можно было бы предположить такой вариант переосмысления различия рутинных и нестандартных задач с точки зрения возможностей их автоматизации: машинное обучение и искусственный интеллект (ИИ) позволяют решать не только рутинные, но и некоторые нестандартные задачи, для решения которых человек применяет свои имплицитные знания, интуицию и целенаправленную креативность. Но М. Сако говорит об альтернативной позиции: решение задач с помощью алгоритмов *data-driven* рассматривается таким образом, что различие между рутинными и нестандартными задачами больше не принимается в расчет [2]. Этот подход мотивируется следующим образом: компьютерные системы после обучения следуют определенным правилам решения задач, но эти правила не обязательно соответствуют тем правилам, которым следуют люди при решении этих же задач [6]. Например, машинный алгоритм распознавания лиц, сформированный в процессе обучения, по мнению М. Сако, не совпадает с профессиональным алгоритмом, разработанным человеком, так как в случае

использования машинного алгоритма отсутствует непосредственное программирование профессионального алгоритма. Такая точка зрения основана на идее, что повторение мыслительного процесса человека при решении задач не является единственным способом создания систем ИИ, что подтверждается анализом алгоритмов, определяемых данными, сформированных в процессе обучения ИНС в системах МП.

Искусственная нейронная сеть состоит из слоев искусственных нейронов, соединенных между собой взвешенными связями. Искусственные нейронные сети не программируются обычным способом согласно алгоритму, разработанному человеком. Они обучаются на большом числе учебных примеров с их решениями (ответами) и настраивают весовые коэффициенты (веса) связей так, чтобы ИНС для каждого обучающего примера давала правильный ответ. При этом объем матрицы весов связей может составлять несколько гигабайт. После обучения ИНС используется для решения задач, не входящих в обучающие примеры. Что произойдет, если ИНС даст неправильный результат при их решении и возникнет необходимость узнать, почему произошла ошибка, является ли она постоянной или нестабильной? В традиционной программе человек ищет сегмент кода, ответственный за ошибку, анализирует и исправляет ее. В ИНС нет алгоритмических шагов, и можно увидеть только гигабайтную матрицу весов. Эта матрица весов непрозрачна — с ее помощью нельзя выяснить, как веса соотносятся с ошибкой. Вот почему поиск способов объяснения результатов, полученных ИНС, становится одной из самых актуальных областей исследований [7].

Индикатором пристального внимания к этой области исследований служит то, что в 2018 г. в издательстве «Шпрингер» началась публикация серии книг о современных технологиях МП [8, 9]. Первый том этой серии полностью посвящен анализу МП и включает обзор экспертного и автоматизированного подходов к классификации и аннотированию его ошибок, что говорит об актуальности этой проблематики<sup>1</sup>.

Представляемое исследование нацелено на анализ динамики ошибок, степени их стабильности и оценку частотности ошибок НМП в зависимости от вида нестабильности. На первом этапе эксперимента была поставлена задача провести категоризацию нестабильности НМП. В результате решения этой задачи были определены пять видов нестабильности [3]. Второй этап эксперимента, описанию которого посвящена настоящая статья, связан с разработкой методики оценки нестабильности НМП.

## 2 Этапы формирования аннотаций

Эксперимент по мониторингу НМП реализован на материале русско-французских аннотаций, сформированных с помощью НБД [11, 12]. Каждая аннотация включает текстовый фрагмент на русском языке, его перевод на французский,

---

<sup>1</sup> На актуальность этой проблематики указывает и работа [10].

Исходный текстовый фрагмент		Контекст коннектора	Коннектор
– И слушать не стану, – зашипел в самое ухо его Коровьев, – у нас не полагается, а у иностранцев полагается.	<u>Показать контекст</u>	у нас <b>не</b> полагается, а у иностранцев полагается.	не (расстояние) а
<i>Скопируйте сюда полученный перевод исходного текстового фрагмента:</i>		<i>Сформируйте здесь контекст перевода коннектора, выделите главные слова:</i>	
– Et je n'écouterai pas, – murmura Koroviev à son oreille, – on ne nous fait pas confiance, mais des étrangers.		on <b>ne</b> nous fait <b>pas</b> confiance, <b>mais</b> des étrangers.	

### Интерфейс НБД для формирования и регистрации аннотаций

выполненный с помощью системы НМП Google, и описание ошибок в случае их наличия.

Для формирования экспериментального массива аннотаций были отобраны 250 русскоязычных текстовых фрагментов, каждый из которых содержит двухкомпонентный коннектор<sup>1</sup>. Источником текстов послужил русско-французский подкорпус Национального корпуса русского языка (НКРЯ) [14].

Процесс подготовки аннотации в НБД имеет два этапа. Сначала выполняется ее формирование и регистрация, а затем — рубрикация, т. е. присвоение ей рубрик, характеризующих лингвистические аспекты аннотируемых текстовых фрагментов. Методика и примеры аннотирования в НБД рассмотрены в работах [15–18].

Рубрикация аннотации может происходить параллельно с ее регистрацией в НБД, но специфика эксперимента по исследованию НМП предопределила временное разделение этих этапов. На протяжении года, с марта 2019 г. по февраль 2020 г., в НБД ежемесячно формировались и регистрировались 250 аннотаций. В результате был получен массив экспериментальных данных, в котором для каждого из 250 текстовых фрагментов была зафиксирована серия из 12 версий МП. Таким образом, всего в НБД было зарегистрировано 3000 аннотаций.

На рисунке приведены поля интерфейса НБД для формирования и регистрации аннотаций. Надкорпусная база данных дает возможность выбрать из списка используемый машинный переводчик (в данном случае это система НМП Google). Также есть возможность при необходимости сократить фрагмент перевода, а затем выделить в нем «главные слова», которые соотносятся с речевой реализацией

<sup>1</sup> Коннектор — языковая единица, функция которой состоит в выражении логико-семантических отношений, существующих между соединенными с ее помощью текстовыми компонентами [13, с. 17].

**Таблица 1** Пример аннотации, зарегистрированной в НБД

№	Контекст РР в оригинале	РР в оригинале и ее признаки	Контекст РР в переводе	РР в переводе и ее признаки	Признаки аннотации	Дата и время записи в НБД
1	2	3	4	5	6	7
28370	у нас <b>не</b> полагается, <b>а</b> у иностранцев полагается.	<b>ne  a</b> {коррекция} {CNT p CNT q} {CNT} {Дистант}	on <b>ne</b> nous fait <b>pas</b> confiance, <b>mais</b> des étrangers.			04.03.2019 14:09

**Примечания.**

1. Рубрика (подробнее о рубриках см. в [20]) «коррекция» говорит о том, что коннектор *ne (расстояние) a* выражает логико-семантическое отношение коррекции.
2. Рубрика «CNT p CNT q» говорит о том, что элементы двухкомпонентного коннектора находятся в каждом из соединяемых компонентов текста *p* и *q*.
3. Рубрика «CNT» говорит о том, что аннотация сформирована для всего коннектора, а не для отдельно составляющих его блоков или элементов.
4. Рубрика «Дистант» говорит о том, что части коннектора разделены текстом.

(РР)<sup>1</sup> коннектора во фрагменте оригинала. Далее происходит регистрация аннотации в НБД, в результате которой она получает номер (см. первую колонку табл. 1).

На данном этапе, как показано в табл. 1, столбцы 5 «РР в переводе и ее признаки» и 6 «Признаки аннотации» остаются незаполненными. Это связано с тем, что на первом этапе основная задача заключалась только в регулярной регистрации с шагом в один месяц НМП всех 250 текстовых фрагментов (в течение первых 7 дней каждого месяца), но не в их аннотировании.

На втором этапе работы происходит рубрикация полей аннотации, т. е. заполнение столбца 5 «РР в переводе и ее признаки»<sup>2</sup> в табл. 1 и проставление рубрик в столбце 6 на основе лингвистического анализа МП. Целесообразно анализировать версии МП одного и того же текстового фрагмента последовательно, в сопоставлении версий друг с другом. Это позволяет отследить изменения в переводе и впоследствии дать оценку динамики его качества.

Нередко во время аннотирования корректность языковых единиц, употребленных в МП на французский язык, или их сочетаемость может вызывать сомнения. В таких случаях требуется дополнительная проверка, например через информационные ресурсы Google, Books.google или TLFi (Trésor de la Langue Française informatisé [22]).

<sup>1</sup> Речевая реализация в оригинале — форма коннектора в конкретном высказывании [19].

<sup>2</sup> Речевая реализация в переводе — функционально эквивалентный фрагмент перевода, передающий смысловое наполнение РР в оригинале. Понятие «функционально эквивалентный фрагмент» предложено в [21].

**Таблица 2** Классификация ошибок перевода

№	Название рубрики	Код рубрики
1	Все предложение аграмматично	AgramTotal
2	Морфологическая ошибка во фрагменте текста, не вводимом коннектором	ErrorMorph
3	Морфологическая ошибка во фрагменте текста, вводимом коннектором	ErrorMorphPostCNT
4	Синтаксическая ошибка во фрагменте текста, не вводимом коннектором	ErrorSyntax
5	Синтаксическая ошибка во фрагменте текста, вводимом коннектором	ErrorSyntaxPostCNT
6	Лексическая ошибка, искажение смысла в переводимом фрагменте	ErrorSemant
7	Пунктуационная ошибка	ErrorPunct
8	Слова кириллицей в переводе	Cyrillic
9	Русское слово латинским шрифтом (транслитерация)	Latin
10	Пропуск фрагмента текста	Lacuna
11	Избыточный перевод	Pleonasm
12	Переведена первая часть неоднословного коннектора	TrPart1CNT
13	Переведена вторая часть неоднословного коннектора	TrPart2CNT
14	Первая часть неоднословного коннектора переведена ошибочно	ErrorPart1CNT
15	Вторая часть неоднословного коннектора переведена ошибочно	ErrorPart2CNT
16	Коннектор переведен несуществующей языковой единицей	ErrorTotalCNT
17	Коннектор ошибочно заменен языковой единицей, не являющейся коннектором	ErrorMorphCNT
18	Орфографическая ошибка в форме коннектора	ErrorOrthCNT
19	Семантическая ошибка в выборе коннектора	ErrorCNT

Ключевую роль при рубрикации полей аннотации играет выявление допущенных системой НМП ошибок и определение их вида. В табл. 2 представлена третья версия классификации ошибок (о предыдущих версиях см. в [3]), разработанная в ходе работы по исследованию НМП в ФИЦ ИУ РАН. Отличие данной классификации от описанной в [3] заключается в объединении ошибок ErrorLex и ErrorSemant в одну ошибку ErrorSemant с расширенной дефиницией. В целом настоящая классификация содержит 19 видов ошибок перевода, не считая рубрики NoError. Первые 11 ошибок касаются контекста в целом, остальные 8 — только корректности употребления коннектора.

Объем статьи не позволяет проиллюстрировать все ошибки, однако в табл. 5 будут представлены примеры для отдельных их видов. Отметим только, что, если фрагмент перевода содержит несколько ошибок одного типа (как, например, аннотация 31 706 в табл. 5), эта информация отмечается в поле для комментария.



**Таблица 3** Перечень используемых рубрик

Код	Название рубрики	Дефиниция
NB	Nota bene!	Интересный лингвистический пример перевода
Cngrn	Конгруэнтный перевод	Коннектор русского языка переведен коннектором французского языка
Dvrg	Дивергентный перевод	Коннектор русского языка переведен языковой единицей или конструкцией другой категории (не коннектором)
Cngrn+Dvrg	Перевод конгруэнтный и дивергентный	Коннектору русского языка соответствует структура, включающая одновременно коннектор и не относящуюся к категории коннекторов лексическую единицу или грамматическую структуру
MT	Машинный перевод	Проставляется автоматически при использовании машинного переводчика
TrModif	Изменение в МП	Изменение в переводе, не связанное с повышением/снижением его качества. При этом перевод может изменяться, оставаясь ошибочным, или не содержащий ошибок перевод остается таковым, претерпевая некоторые изменения

В заключение проставляются рубрики, характеризующие аннотируемое переводное соответствие в целом (их перечень с пояснениями см. в табл. 3).

### 3 Методика определения степени нестабильности нейронного машинного перевода

Когда разметка всех 12 версий перевода одного текстового фрагмента закончена, эксперт переходит к определению степени нестабильности НМП. Здесь также можно выделить два этапа.

Сначала эксперт проводит анализ ошибок (если таковые имеются) во всех версиях НМП одного текстового фрагмента. Требуется проанализировать как число ошибок, так и их виды. Анализ ошибок проводится последовательно, начиная с самой ранней версии НМП, т.е. двигаясь от 1-го к 12-му месяцу эксперимента.

На основании проведенного анализа эксперт дает оценку динамики ошибок во времени и проставляет одну из пяти рубрик, характеризующих нестабильность НМП (см. первые пять строк в табл. 4), или шестую рубрику «НМП без

**Таблица 4** Рубрики, характеризующие стабильность/нестабильность НМП

№	Название рубрики
1	Повышение качества НМП
2	Снижение качества НМП
3	Колебание качества НМП
4	Изменение набора ошибок в НМП без динамики его качества
5	Изменение НМП без динамики его качества
6	НМП без изменений

изменений» — для серий переводов без изменений. Эти рубрики проставляются в аннотации последней, 12-й версии перевода, но характеризуют они всю серию из 12 переводных версий.

Отметим, что на протяжении 12 месяцев эксперимента перевод лишь 5 из 250 фрагментов оставался неизменным (что составляет 2% от 250 текстовых фрагментов)<sup>1</sup>. При этом 4 фрагмента оставались стабильно неизменными без ошибок перевода и один фрагмент — стабильно неизменным с одной ошибкой. Виды и примеры нестабильности НМП представлены и проанализированы в [3].

В табл. 5 дан пример результатов применения разработанной методики исследования нестабильности НМП к следующему текстовому фрагменту:

— И слушать не стану, — зашипел в самое ухо его Коровьев, — у нас не полагается, а у иностранцев полагается [М. А. Булгаков. Мастер и Маргарита (1929–1940)].<sup>2</sup>

Без учета повторяющихся машинных переводов, которые для наглядности заменены на символы *-//-*, видно, что в течение года перевод обозначенного текстового фрагмента менялся 5 раз. В переводе от 04.03.2019 допущены две ошибки: ErrorSemant (искажение смысла, так как «*on ne nous fait pas confiance*» переводится скорее как «*нам не доверяют*») и ErrorSyntaxPostCNT (в предложении нарушены синтаксические связи).

В переводе от 04.08.2019 уже другая ErrorSemant (отсутствует перевод «*у нас*»). В переводе от 07.11.2019 сразу две ошибки вида ErrorSemant (искажение смысла в «*nous ne comptons pas sur nous*» и в «*mais les étrangers nous font confiance*»). Перевод от 06.12.2019 считается приемлемым вариантом, поэтому проставлен признак NoError. Однако перевод от 06.02.2020 вновь воспроизводит ошибочную версию от 07.11.2019 с двумя ошибками вида ErrorSemant.

<sup>1</sup>В статье [3] приводятся данные о 4% стабильных переводов. Это обусловлено тем, что в работе [3] были проанализированы результаты НМП только за первые 10 месяцев эксперимента, т. е. расширение экспериментального периода на 2 месяца снизило в 2 раза число стабильных серий, полученных с помощью системы НМП.

<sup>2</sup>Профессиональный перевод этого предложения на французский язык: «— Taisez-vous donc, lui souffla Koroviev à l'oreille, chez nous c'est défendu, mais chez les étrangers, ça se fait» [Claude Ligny (1968)].

**Таблица 5** Серия аннотаций 12 переводов одного текстового фрагмента

№	№ в НБД	Контекст РР в оригинале	РР в оригинале	Контекст РР в переводе	РР в переводе и ее признаки	Признаки аннотации	Дата и время записи в НБД
1	28 370	у нас <b>не</b> полагается, <b>а</b> у иностранцев полагается.	<b>не  а</b>	он <b>не</b> nous fait <b>pas</b> confiance, <b>mais</b> des étrangers.	<b>ne pas mais</b> (ErrorSyntaxPostCNT) (ErrorSemant)	Cngrn MT	04.03.2019 14:09
2	28 865			-//-	-//-	-//-	05.04.2019 15:06
3	29 137			-//-	-//-	-//-	03.05.2019 22:05
4	29 983			-//-	-//-	-//-	06.06.2019 14:35
5	30 291			-//-	-//-	-//-	04.07.2019 14:56
6	30 518			ce <b>n'est pas</b> nécessaire, <b>mais</b> les étrangers doivent le faire.	<b>ne pas mais</b> (ErrorSemant)	-//-	04.08.2019 15:37
7	30 878			-//-	-//-	-//-	07.09.2019 21:51
8	31 142			-//-	-//-	-//-	04.10.2019 15:05
9	31 706			nous <b>ne</b> comptons <b>pas</b> sur nous, <b>mais</b> les étrangers nous font confiance.	<b>ne pas mais</b> (ErrorSemant)	-//-	07.11.2019 16:20
10	32 324			nous <b>n'avons pas</b> à le faire, <b>mais</b> les étrangers le doivent.	<b>ne pas mais</b> (NoError)	-//-	06.12.2019 16:43
11	32 622			-//-	-//-	-//-	06.01.2020 23:21
12	33 352			nous <b>ne</b> comptons <b>pas</b> sur nous, <b>mais</b> les étrangers comptent sur nous.	<b>ne pas mais</b> (ErrorSemant) (Колебание качества НМП)	-//-	06.02.2020 23:28

По завершении анализа ошибок в серии из 12 переводов можно сделать вывод о динамике качества НМП рассмотренного текстового фрагмента. Кратко динамику можно описать так: качество перевода сначала повышается (если в 1-й версии две ошибки, то в 6-й одна), затем понижается (в 9-й версии опять две ошибки), снова повышается (в 10-й версии нет ни одной ошибки), но в конце качество перевода опять понижается (в 12-й версии одна ошибка). Такая динамика свидетельствует о том, что, характеризуя нестабильность НМП в данной серии переводов, следует выбрать рубрику «Колебание качества НМП».

## 4 Заключение

В статье приведено описание второго этапа эксперимента по многократному фиксированию машинных переводов, полученных с помощью системы НМП Google. На данном этапе ставилась цель разработать методику оценки нестабильности НМП и проверить ее реализуемость. В результате были разграничены этапы подготовки аннотаций, а также сделано пошаговое описание методики определения допущенных в переводе ошибок и рубрик, характеризующих нестабильность НМП. На третьем этапе эксперимента будут сопоставлены категории нестабильности с видами ошибок перевода и получены данные о частотности ошибок, релевантных каждой категории.

## Литература

1. *Chouldechova A., Roth A.* A snapshot of the frontiers of fairness in machine learning // Commun. ACM, 2020. Vol. 63. No. 5. P. 82–89.
2. *Sako M.* Artificial intelligence and the future of professional work // Commun. ACM, 2020. Vol. 63. No. 4. P. 25–27.
3. *Егорова А. Ю., Зацман И. М., Косарик В. В., Нуриев В. А.* Нестабильность нейронного машинного перевода // Системы и средства информатики, 2020. Т. 30. № 2. С. 124–135.
4. *Brynjolfsson E., McAfee A.* The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. — New York – London: W. W. Norton & Co., 2014. 306 p.
5. *Brynjolfsson E., Mitchell T.* What can machine learning do? Workforce implications // Science, 2017. Vol. 358. Iss. 6370. P. 1530–1534.
6. *Fenstermacher K. D.* The tyranny of tacit knowledge: What artificial intelligence tells us about knowledge representation // 38th Annual Hawaii Conference (International) on System Sciences Proceedings. — Washington, D.C., USA: IEEE Computer Society, 2005. Vol. 8. P. 243a. doi: 10.1109/HICSS.2005.620.
7. *Denning P. J., Denning D. E.* Dilemmas of artificial intelligence // Commun. ACM, 2020. Vol. 63. No. 3. P. 22–24.
8. Translation quality assessment: From principles to practice / Eds. J. Moorkens, S. Castilho, F. Gaspari, S. Doherty. — Machine translation: Technologies and applications ser. — Cham: Springer International Publishing, 2018. Vol. 1. 287 p.

9. *Scott B.* Translation, brains and the computer: A neurolinguistic solution to ambiguity and complexity in machine translation. — Machine translation: Technologies and applications ser. — Cham: Springer International Publishing, 2018. Vol. 2. 241 p.
10. *Specia L., Scarton C., Paetzold G. H.* Quality estimation for machine translation. — London: Morgan & Claypool Pubs., 2018. 148 p.
11. *Зацман И. М., Кружков М. Г.* Надкорпусная база данных коннекторов: развитие системы терминов проектирования // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 4. С. 156–167.
12. *Егорова А. Ю., Зацман И. М., Мамонова О. С.* Надкорпусные базы данных в лингвистических проектах // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 3. С. 77–91.
13. *Инькова-Манзотти О. Ю.* Коннекторы противопоставления во французском и русском языках. Сопоставительное исследование. — М.: Информэлектро, 2001. 429 с.
14. Национальный корпус русского языка. <http://www.ruscorpora.ru>.
15. *Zatsman I., Buntman N., Coldefy-Faucard A., Nuriev V.* WEB knowledge base for asynchronous brainstorming // 17th European Conference on Knowledge Management Proceedings. — Reading: Academic Publishing International Ltd., 2016. Vol. 1. P. 976–983.
16. *Zatsman I.* Goal-oriented creation of individual knowledge: Model and information technology // 19th European Conference on Knowledge Management Proceedings. — Reading: Academic Publishing International Ltd., 2018. Vol. 2. P. 947–956.
17. *Zatsman I.* Finding and filling lacunas in knowledge systems // 20th European Conference on Knowledge Management Proceedings. — Reading: Academic Publishing International Ltd., 2019. Vol. 2. P. 1143–1151.
18. *Zatsman I.* Three-dimensional encoding of emerging meanings in AI-systems // 21st European Conference on Knowledge Management Proceedings. — Reading: Academic Publishing International Ltd., 2020 (in press).
19. *Инькова О. Ю.* Надкорпусная база данных как инструмент формальной вариативности коннекторов // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: по мат-лам ежегодной Международ. конф. «Диалог». — М.: РГГУ, 2018. Вып. 17(24). С. 240–253.
20. *Зализняк Анна А., Зацман И. М., Инькова О. Ю.* Надкорпусная база данных коннекторов: построение системы терминов // Информатика и её применения, 2017. Т. 11. № 1. С. 100–108.
21. *Добровольский Д. О., Кретов А. А., Шаров С. А.* Корпус параллельных текстов: архитектура и возможности использования // Национальный корпус русского языка: 2003–2005 / Отв. ред. В. А. Плунгян. — М.: Индрик, 2005. С. 263–296.
22. Trésor de la Langue Française informatisé. <http://atilf.atilf.fr>.

Поступила в редакцию 10.07.20

## THE TECHNIQUE ALLOWING FOR TEMPORAL ESTIMATION OF MACHINE TRANSLATION INSTABILITY

A. Yu. Egorova, I. M. Zatsman, M. G. Kruzhhkov, and V. A. Nuriev

Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** The paper presents a technique allowing for temporal estimation of instability of neural machine translation (NMT). This technique gives an opportunity to see how NMT of a given text fragment changes with time. The experiment described in the paper involves 250 Russian text fragments. During a year, each text fragment was repeatedly translated into French. The time step was one month. To produce translations, the Google NMT system was used. All the translations were annotated in a supracorpora database to register the output errors (if there were any). Eventually, for each of 250 text fragments, there was a series of 12 annotated translations. The annotation containing the 12th translation had a heading denoting the degree of NMT instability in relation to the entire series of translations. This heading characterized changes in translation quality or indicated their absence. The paper is aimed to describe both the technique allowing for temporal estimation of NMT instability and results of its application.

**Keywords:** neural machine translation; instability; quality estimation for machine translation; linguistic annotation; instability types

**DOI:** 10.14357/08696527200307

### References

1. Chouldechova, A., and A. Roth. 2020. A snapshot of the frontiers of fairness in machine learning. *Commun. ACM* 63(5):82–89.
2. Sako, M. 2020. Artificial intelligence and the future of professional work. *Commun. ACM* 63(4):25–27.
3. Egorova, A. Yu., I. M. Zatsman, V. V. Kosarik, and V. A. Nuriev. 2020. Nestabil'nost' neyronnogo mashinnogo perevoda [Instability of neural machine translation]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 30(2):124–135.
4. Brynjolfsson, E., and A. McAfee. 2014. *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. New York–London: W. W. Norton & Co. 306 p.
5. Brynjolfsson, E., and T. Mitchell. 2017. What can machine learning do? Workforce implications. *Science* 358(6370):1530–1534.
6. Fenstermacher, K. D. 2005. The tyranny of tacit knowledge: What artificial intelligence tells us about knowledge representation. *38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences Proceedings*. Washington, D.C., USA: IEEE Computer Society. 8:243a. doi: 10.1109/HICSS.2005.620.

7. Denning, P. J., and D. E. Denning. 2020. Dilemmas of Artificial Intelligence. *Commun. ACM* 63(3):22–24.
8. Moorkens, J., S. Castilho, F. Gaspari, and S. Doherty, eds. 2018. *Translation quality assessment*. Machine translation: Technologies and applications ser. Cham: Springer International Publishing. Vol. 1. 299 p.
9. Scott, B. 2018. *Translation, brains and the computer: A neurolinguistic solution to ambiguity and complexity in machine translation*. Machine translation: Technologies and applications ser. Cham: Springer International Publishing. Vol. 2. 241 p.
10. Specia, L., C. Scarton, and G. H. Paetzold. 2018. *Quality estimation for machine translation*. London: Morgan & Claypool Pubs. 148 p.
11. Zatsman, I. M., and M. G. Kruzhkov. 2018. Nadkorpornaya baza dannykh konnektorov: razvitie sistemy terminov proektirovaniya [Supracorpora database of connectives: Design-oriented evolution of the term system]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 28(4):156–167.
12. Egorova, A. Yu., I. M. Zatsman, and O. S. Mamonova. 2019. Nadkorpornye bazy dannykh v lingvisticheskikh proektakh [Supracorpora databases in linguistic projects]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(3):77–91.
13. Inkova-Manzotti, O. Yu. 2001. *Konnektory protivopostavleniya vo frantsuzskom i russkom yazykakh. Sopostavitel'noe issledovanie* [Connectors of opposition in French and Russian: A comparative study]. Moscow: Informelektro. 429 p.
14. Natsional'nyy korpus russkogo yazyka [Russian National corpus]. Available at: <http://www.ruscorpora.ru/> (accessed July 27, 2020).
15. Zatsman, I., N. Buntman, A. Coldefy-Faucard, and V. Nuriev. 2016. WEB knowledge base for asynchronous brainstorming. *17th European Conference on Knowledge Management Proceedings*. Reading: Academic Publishing International Ltd. 1:976–983.
16. Zatsman, I. 2018. Goal-oriented creation of individual knowledge: Model and information technology. *19th European Conference on Knowledge Management Proceedings*. Reading: Academic Publishing International Ltd. 2:947–956.
17. Zatsman, I. 2019. Finding and filling lacunas in knowledge systems. *20th European Conference on Knowledge Management Proceedings*. Reading: Academic Publishing International Ltd. 2:1143–1151.
18. Zatsman, I. 2020 (in press). Three-dimensional encoding of emerging meanings in AI-systems. *21th European Conference on Knowledge Management Proceedings*. Reading: Academic Publishing International Ltd.
19. Inkova, O. Yu. 2018. Nadkorpornaya baza dannykh kak instrument formal'noy variativnosti konnektorov [Supracorpora database as an instrument of the study of the formal variability of connectives]. *Computer Linguistic and Intellectual Technologies: Conference (International) "Dialog" Proceedings*. Moscow. 17(24):240–253.
20. Zaliznyak, A. A., I. M. Zatsman, and O. Yu. Inkova. 2017. Nadkorpornaya baza dannykh konnektorov: postroenie sistemy terminov [Supracorpora database on connectives: Term system development]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 11(1):100–108.
21. Dobrovol'skiy, D. O., A. A. Kretov, and S. A. Sharov. 2005. Korpus parallel'nykh tekstov: arkhitektura i vozmozhnosti ispol'zovaniya [Corpus of parallel texts: Architecture and applications]. *Natsional'nyy korpus russkogo yazyka: 2003–2005* [Russian National Corpus: 2003–2005]. Moscow: Indrik. 263–296.

22. Trésor de la Langue Française informatisé. Available at: <http://atilf.atilf.fr/> (accessed July 27, 2020).

*Received July 10, 2020*

## **Contributors**

**Egorova Anna Yu.** (b. 1991) — junior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; [ann.shurova@gmail.com](mailto:ann.shurova@gmail.com)

**Zatsman Igor M.** (b. 1952) — Doctor of Science in technology, Head of Department, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; [izatsman@yandex.ru](mailto:izatsman@yandex.ru)

**Kruzhhkov Mikhail G.** (b. 1975) — senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; [magnit75@yandex.ru](mailto:magnit75@yandex.ru)

**Nuriev Vitaly A.** (b. 1980) — Candidate of Science (PhD) in philology, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; [nurieff.v@gmail.com](mailto:nurieff.v@gmail.com)



## ОРГАНИЗАЦИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ДАННЫХ\*

*А. К. Рычихин<sup>1</sup>, В. А. Нуриев<sup>2</sup>*

**Аннотация:** Рассматривается проблема организации жизненного цикла исследовательских данных в гуманитарных науках. Такой цикл включает составление плана по управлению данными (ПУД), сбор и/или генерацию данных, определение их структуры и формата хранения, выбор лицензии и цифрового репозитория для их долгосрочного хранения, а также публикацию сведений о данных в целях их широкого распространения. Описание каждой стадии сопровождается обзором рекомендаций европейских рабочих групп по реализации принципов «справедливого» доступа к данным (FAIR — findable, accessible, interoperable, reusable) и ссылками на средства информатики, помогающие в реализации этих принципов. Дано сравнение трех цифровых репозиториях по критериям Швейцарского национального научного фонда (ШННФ). Цель статьи — дать краткий обзор стадий жизненного цикла и рекомендаций по реализации принципов FAIR.

**Ключевые слова:** организация исследований; план по управлению данными; жизненный цикл данных; цифровые репозитории; принципы FAIR; этические аспекты

**DOI:** 10.14357/08696527200308

### 1 Введение

В настоящее время проблема организации жизненного цикла данных, создаваемых в рамках научного исследования, особенно актуальна. В 2019 г. Еврокомиссия опубликовала подробный доклад, в котором предлагается обзор и анализ того, что необходимо для реализации принципов FAIR — принципов «справедливого» доступа к данным ([1], на русском см. [2]). Также в нем представлен ряд рекомендаций для заинтересованных сторон в Европе и за ее пределами [3]. В рамках EOSC<sup>3</sup> создана рабочая группа по принципам FAIR, которая занимается:

---

\* Авторы благодарят И. М. Зацмана за ценные замечания и предложения.

<sup>1</sup> Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, ak.rychikhin@gmail.com

<sup>2</sup> Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, nurieff.v@gmail.com

<sup>3</sup> EOSC — European Open Science Cloud (Европейское открытое научное облако), организация по содействию открытой науке при Еврокомиссии.

- созданием метрик для оценки соответствия данных и ресурсов этим принципам;
- вопросами совместимости данных и их идентификацией;
- популяризацией этих принципов [4].

Многие научные фонды на стадии подготовки грантовой заявки уже обязывают соискателей составлять развернутый ПУД (об опыте ШННФ см. [2]). Данные, необходимые для обеспечения воспроизводимости результатов того или иного исследования, следует размещать в репозиториях (см. реестр репозитория для исследовательских данных — [re3data.org](https://re3data.org)).

В данной статье рассматривается пример организации жизненного цикла данных в гуманитарных науках, предложенный ALLEA<sup>1</sup> [5]. Цикл включает 5 стадий:

- (1) определение того, что является данными;
- (2) составление ПУД;
- (3) сбор/генерацию, определение структуры и способа хранения данных;
- (4) решение правовых аспектов, лицензирование и размещение данных в репозитории;
- (5) обеспечение возможности доступа к данным.

Кроме того, в статье проводится сравнение трех репозиториях, предлагающих услуги по хранению данных в области гуманитарных дисциплин (в частности, лингвистики), согласно критериям ШННФ [6]. Применение метрик для оценки репозиториях на предмет их соответствия принципам FAIR выходит за рамки статьи, и поэтому они не рассматриваются.

## 2 Организация жизненного цикла данных

Опубликованный в феврале 2020 г. доклад ALLEA об устойчивом и «справедливом» (FAIR) управлении данными в гуманитарных науках [5] содержит рекомендации исследователям по каждой из пяти стадий жизненного цикла данных. Данными считается вся входящая (inputs) и следующая из результатов исследования (outputs) информация. Доклад посвящен использованию цифровых данных и не охватывает особенности обработки физических объектов.

Стадии организации жизненного цикла данных:

### 1. Определить, что является данными.

Несмотря на то что термин «данные» чаще используется в точных или общественных науках (данные опросов, экспериментальные данные и т. д.) [7],

---

<sup>1</sup>ALLEA (All European Academies) — Европейская федерация академий наук (см. <https://allea.org>).

некоторые области гуманитарной науки также традиционно пользуются этим термином (компьютерная лингвистика или экономическая история), а другие вырабатывают новый понятийный аппарат в связи с распространением компьютерных технологий. Чтобы избежать разночтений, вне зависимости от традиций, принятых в конкретной научной области, все информационные объекты некоторого исследования предлагается считать данными (тексты, изображения, факсимиле, аудио- и видеозаписи, графики, таблицы, карты и т. д.), которые могут быть полезны для проведения других исследований. Например, исследуя эволюцию некоторого объекта во времени, ученый часто собирает исходные данные самостоятельно, тогда как предыдущие работы уже описывали состояние этого же объекта исследования, но не предоставили свободный доступ к их данным. Очевидно, что документирование данных предыдущих работ и свободный доступ к ним существенно облегчили бы подготовку новых исследований.

Рекомендуется документировать все исследовательские данные согласно основному правилу открытой науки: «данные должны быть настолько открытыми, насколько возможно, и настолько закрытыми, насколько необходимо» [5]. При подготовке данных рекомендуется, если это соответствует целям работы, пользоваться инструментами так называемых «цифровых» гуманитарных наук (digital humanities)<sup>1</sup>. Однако единые стандарты не означают, что нужно формально описывать данные в гуманитарных науках с позиции точных наук, уже потому что исследовательские объекты в них существенно различаются (подробнее см. [8]).

## 2. Составить ПУД.

План по управлению данными описывает сбор и/или генерацию данных, структуры, условия их хранения и повторного использования (пример структуры, рекомендованной ШННФ в соответствии с принципами FAIR, см. в [2]<sup>2</sup>).

План по управлению данными облегчает повторное использование данных, что помогает и избежать дублирования усилий, и предотвращает потерю данных. В нем описывается жизненный цикл данных до, во время и после исследования.

Если научное учреждение или фонд предоставляют шаблон ПУД, то исследователь заполняет готовую форму. В отсутствие шаблона с примерами ПУД для разных предметных областей и требованиями некоторых британских и европейских научных фондов можно ознакомиться в свободном доступе на сайте DMPOnline (<https://dmponline.dcc.ac.uk>). Руководства и разъяснения по управлению данными также готовят архивы и библиотеки [9–13]. В целом,

<sup>1</sup> Например, см. сайт библиотек Массачусетского технологического института (<https://libguides.mit.edu/digitalhumanities>), в частности раздел «инструменты и ресурсы» со ссылками на инструменты разметки данных, анализа текстов, визуализации, стандартизации метаданных и т. д.

<sup>2</sup> Подробное описание ПУД приведено в [2]. Обычно в нем отражаются: методы сбора/создания данных, модели организации и структурирования данных, документация (в том числе стандарты на метаданные), правовые и этические вопросы, хранение и доступ во время исследования, условия долговременного хранения и доступа для повторного использования.

эти руководства не имеют значительных отличий от рекомендаций ШННФ, поскольку все ПУД преследуют одни цели и основываются на принципах FAIR.

На данной стадии полезным инструментом может оказаться онлайн-конфигуратор ПУД DMPtool (<https://dmptool.org>), способный учитывать требования финансирующих организаций и предлагающий соответствующую структуру ПУД<sup>1</sup>.

### 3. Собрать или создать данные.

Исследовательские данные в гуманитарных науках классифицируются по нескольким основаниям: источник (вторичные — уже существующие данные, например корпус текстов и их переводов; первичные — созданные данные, например аннотации коннекторов в надкорпусной базе данных (БД)<sup>2</sup>), тип (количественные или качественные; текстовые, визуальные, звуковые; линейно или иерархически устроенные), уровень структурированности, формат, объем [15].

Выбор формата — основной вопрос в данном разделе. Необходимо избежать ситуации, при которой использованные форматы будут недоступны в будущем. В общем случае рекомендуется использовать те форматы файлов, которые лучше всего подходят для обеспечения долгосрочной устойчивости и доступности в силу того, что они часто используются, имеют открытые спецификации, независимы от конкретного программного обеспечения (ПО), разработчиков или поставщиков. На практике не всегда возможно использовать форматы, которые удовлетворяют всем этим критериям. Репозитории (см. разд. 4) и архивно-библиотечные службы предлагают и регулярно обновляют списки рекомендуемых, допустимых и нежелательных форматов (см., например, [16, 17]). В табл. 1 с незначительными сокращениями (типов данных, которые редко встречаются в гуманитарных исследованиях) представлены рекомендации U.K. Data Service — Британской службы данных [17].

Другой важный вопрос касается стандартизации метаданных. Существуют различные категории метаданных: описательные, технические, административные и др. [18]. Технические метаданные описывают процессы, необходимые для производства или использования цифровых объектов. Административные метаданные применяются для управления правами на интеллектуальную собственность.

Описательные метаданные позволяют идентифицировать, размещать и извлекать информационные ресурсы. На ранней стадии исследовательского процесса рекомендуется определить стандарт метаданных, наиболее приемлемый для предметной области исследования и совместимый с хранилищем, где будет размещен набор данных. Самыми распространенными являются следующие стандарты: Dublin Core Metadata Initiative (<https://dublincore.org>), стандарт библиотечных каталогов MARC (<http://www.loc.gov/marc>), архивный стандарт

---

<sup>1</sup> Похожим функционалам обладает ezDMP (см. <https://ezdmp.org/about>) — ресурс, разработанный Национальным научным фондом США (NSF) для финансируемых им проектов.

<sup>2</sup> О надкорпусной базе данных коннекторов см. подробнее [14].

**Таблица 1** Рекомендуемые форматы файлов

Тип данных	Рекомендуемые форматы	Допустимые форматы
Табличные данные с большим количеством метаданных	.por; форматы пакетов SPSS, Stata, SAS и т. п.; структурированный текст, например XML file	Модифицированные форматы пакетов SPSS, Stata, MS Access
Табличные данные с минимальным количеством метаданных	.csv; .tab	.txt; форматы MS Excel, MS Access, dBase, OpenDocument Spreadsheet
Текстовые данные	Rich Text Format (.rtf); plain text, ASCII (.txt); eXtensible Mark-up Language (.xml)	Hypertext Mark-up Language (.html); MS Word (.doc/.docx); NUD*IST, NVivo и ATLAS.ti
Изображения	TIFF 6.0 несжатый (.tif)	JPEG; GIF; TIFF; RAW; Photoshop files; BMP; PNG; Adobe Portable Document Format
Аудиозаписи	Free Lossless Audio Codec (FLAC)	MPEG-1 Audio Layer 3, если оригинал создан в этом формате; Audio Interchange File Format; Waveform Audio Format
Видеозаписи	MPEG-4; OGG video; motion JPEG 2000	AVCHD video
Документация	Rich Text Format; PDF/UA, PDF/A или PDF; XHTML или HTML; OpenDocument Text	XML, plain text; форматы MS Word, MS Excel

EAD (<https://www.loc.gov/ead>) (см. список стандартов для разных предметных областей <https://rd-alliance.github.io/metadata-directory/standards>).

Метаданные выполняют свои задачи лучше, если соблюдается единообразие применяемых терминов и используются единые орфографические варианты слов. Достичь терминологического единообразия при заполнении метаданных в больших наборах данных можно посредством инструмента OpenRefine, который приводит метаданные к единому виду (<https://openrefine.org>). Рекомендуется использовать терминологические словари, предлагающие предпочтительные варианты заполнения полей метаданных (см. [19] для разных предметных областей,

а также каталоги библиотек, например [20]). Метаданные должны быть доступны, даже если набор данных уже не доступен. Все метаданные должны включать уникальный и надежный идентификатор набора данных (см. принцип F1 FAIR) и быть пригодны для прочтения компьютером (A2 FAIR).

4. *Разместить в репозитории, обеспечить сохранность и доступность данных.*

Поскольку национальное законодательство играет большую роль в определении особенностей права на интеллектуальную собственность, при включении данных из других работ в свои наборы данных исследователям необходимо выяснить, какие лицензии регулируют жизненный цикл «заимствуемых» данных и на каких условиях их можно воспроизводить (о различиях в национальном законодательстве стран ЕС в области авторских прав см. [21, 22]). Авторское право распространяется не только на работы оригинального изложения фактов и идей, но и на ресурсы, имеющие оригинальный способ организации элементов их изложения, например БД или корпуса текстов (о защите БД см. [23]). Оно, однако, не распространяется на факты и идеи, используемые в исследовании<sup>1</sup>. Если лицензия не позволяет воспроизводить данные из других исследований свободно, необходимо получить разрешение у правообладателя (о лицензиях см. ниже).

При публикации результатов своего исследования необходимо заключать лицензионный договор с издателем, а в случае обработки персональных данных — получить письменное согласие всех участников, чьи данные привлекаются для исследования (подробнее см. [24]). Также требуется анонимизировать данные (см. [25]).

Наиболее часто используются лицензии, которые разрабатываются с 2002 г. компанией «Creative Commons» (CC) и предоставляют лицензиару возможность гибко варьировать ограничения на использование данных. Система CC предлагает четыре основных типа лицензий, регулирующих использование произведений с точки зрения копирования, распространения, демонстрации и исполнения лицензиатами:

- (1) CC BY (Attribution — лицензия «С указанием авторства»): произведение может быть использовано при условии указания его автора;
- (2) CC SA (Share-Alike — лицензия «Распространение на тех же условия — Копилефт»): производная работа может распространяться под идентичной лицензией, после повторного использования данных новой работе может быть присвоена только такая же лицензия;
- (3) CC NC (Non-Commercial — «Некоммерческая» лицензия): лицензиаты могут использовать произведение только в некоммерческих целях;

---

<sup>1</sup>Использование без ссылки некоторого текста, описывающего идею, может быть воспринято как плагиат. Однако рассмотрение таких случаев не входит в задачи данного обзора. Отметим, что авторское право (copyright) защищает *только форму представления* фактов и идей, но не сами акты и идеи.

**Таблица 2** Сравнение лицензий «Creative Commons»

Лицензия	Можно копировать и распространять работу	Необходимо обязательно указывать авторство	Возможно коммерческое использование	Можно адаптировать работу	Можно изменить лицензию при редистрибуции
CC0	+	—	+	+	+
CC BY	+	+	+	+	+
CC BY-SA	+	+	+	+	—
CC BY-ND	+	+	+	—	+
CC BY-NC	+	+	—	+	+
CC BY-NC-SA	+	+	—	+	—
CC BY-NC-ND	+	+	—	—	+

(4) CC ND (No Derivative Works — лицензия «Без производных»): лицензиаты могут распространять только произведение в оригинальном виде без модификаций [26].

Комбинации этих типов образуют 6 видов лицензий: BY<sup>1</sup>, BY-SA, BY-NC, BY-NC-SA, BY-ND, BY-NC-ND. Лицензия CC0 означает, что автор позволяет свободно использовать свою работу. Лицензии доступны для прочтения человеку и компьютеру благодаря использованию языка ccREL, таким образом удовлетворяя принципу R1.2 FAIR [27, 28].

Лицензии CC BY и CC BY-SA в полной мере соответствуют принципам FAIR и рекомендуются ALLEA к использованию в гуманитарных науках, поскольку они не ограничивают возможность повторного использования исследовательских данных. Между тем использование этих лицензий может быть затруднительно, если исследование привлекает конфиденциальные данные или ограничено специальными правами на использование других произведений, полученными в особом порядке (подробнее см. <https://unlockingresearch-blog.lib.cam.ac.uk/?p=555>). Не рекомендуется использовать лицензии типа NC и ND, так как они отрицательно влияют на возможности взаимодействия в науке. Исследователи могут воспользоваться алгоритмизированными инструментами типа [29–32], которые, за исключением последнего, требуют достаточно высокого уровня знаний в сфере прав на интеллектуальную собственность. В табл. 2 представлено сравнение лицензий «Creative Commons»<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Лицензии CC применяются для защиты данных. О лицензиях для ПО, а также об открытых лицензиях см. <https://www.clarin.eu/content/clic-public-and-open-licenses>.

<sup>2</sup>Оригинальные материалы, где производится это сравнение (<https://foter.com/blog/how-to-attribute-creative-commons-photos>), опубликованы под лицензией CC BY-SA и допускают переработку с указанием авторства оригинала и при условии, что на производную работу (т. е. настоящую статью) не будут наложены дополнительные ограничения, кроме предусмотренных оригинальной лицензией.

Как отмечалось выше, необходимым условием финансирования исследовательских проектов для многих европейских научных фондов является хранение данных в сертифицированных цифровых репозиториях. Репозитории не только защищают данные от утери или повреждения, которые более вероятны при хранении на личных устройствах (компьютерах, жестких дисках и т. д.), но и курируют их жизненный цикл: здесь сохранение цифровых данных не сводится к однократному действию, а является процессом, призванным обеспечить постоянный доступ к цифровым данным в будущем, несмотря на все изменения, связанные с научно-техническим прогрессом.

Сохранение данных представляет ценность только при условии обеспечения к ним доступа. Для этого существуют системы уникальных надежных идентификаторов (*англ.* PID — persistent identifiers), таких как DOI, ARK (для данных), ORCID (для исследователей), RAID (проектов), PURL (постоянные URL).

Репозитории стремятся учитывать описанные выше требования, касающиеся форматов файлов, метаданных, идентификаторов и лицензий. В табл. 3 представлено сравнение трех репозиторий<sup>1</sup> по критериям ШННФ.

CLARIN-ERIC не является единым репозиторием, а предоставляет разнообразные услуги в сфере изучения языка, в том числе создает инфраструктуру и сертифицирует различные информационные центры (см. список <https://www.clarin.eu/content/depositing-services>), которые хранят исследовательские данные. В столбце CLARIN-ERIC табл. 3 отражены особенности организации жизненного цикла данных на примере двух таких сертифицированных центров — ARCHE [46] и LINDAT/CLARIAH-CZ [47]. Всего для размещения данных доступно 20 репозиторий системы CLARIN-ERIC в соответствии с разными целями и объектами лингвистического исследования. Эти репозитории удовлетворяют требованиям ШННФ; следовательно, в них могут быть размещены данные, полученные в рамках проектов, выполняемых за счет грантов этого фонда.

##### 5. Обеспечить распространение данных.

Наряду с выступлениями на конференциях, размещением научных публикаций на порталах Academia.edu, ResearchGate и другими традиционными способами распространения результатов исследования, существует относительно новая практика — издание нового вида статей об исследовательских данных (data articles). Это короткие и структурированные статьи, где авторы описывают порядок доступа к данным, которые были использованы или получены в процессе проведения исследования, но при этом в научных статьях не были приведены. Такие статьи о данных рекомендуется публиковать в журналах типа «Research Data

---

<sup>1</sup>Выбор репозиторий осуществляется с помощью реестра re3data.org. Выбраны крупные европейские репозитории с некоммерческими учредителями, где хранятся данные исследований по гуманитарным наукам (все, кроме CLARIN-ERIC, который специализируется на лингвистике и междисциплинарных исследованиях) и предоставляется преимущественно открытый доступ к этим данным.



**Таблица 3** Сравнение репозиториев по критериям ШННФ

Репозиторий	CLARIN-ERIC [33]	EUDAT [34]	Zenodo [35]
Использование уникальных надежных идентификаторов	hdl	hdl, DOI	DOI, ORCID
Возможность вводить обязательные и пользовательские метаданные	Да (см. пп. 2–3 [36])	Да [37]	Да
Лицензия определена репозиторием или может быть выбрана	Да [38]. Встроенный инструмент [39]	Да [40]. Определяется с помощью [29]	Да, широкий выбор, но нет встроенных инструментов [41, 42]
Метаданные всегда доступны	Да [43]	Да (по умолчанию в открытом доступе находятся и данные) [37]	Да (всегда с лицензией CC0) [41, 42]
Метаданные доступны для прочтения компьютеру	Да [43]	Да (обязательные метаданные вводятся в поля фиксированной структуры; используется протокол oai-pmh [44]) [37]	Да [41]
Существует долгосрочный план сохранения данных	Да [45]	Да (совокупность инструментов см. на рис. 2 в [37])	Да [41]

Journal for the Humanities and Social Sciences» или «Journal of Open Humanities Data».

### 3 Заключение

Статья позволяет получить представление о современной организации жизненного цикла исследовательских данных (их подготовке, сохранении, распространении и т. д.) и привлечь внимание российского научного сообщества к некоторым вопросам стратегического менеджмента, которые нередко остаются за пределами внимания отечественных исследователей. В частности, первый такой вопрос касается продолжительности жизненного цикла исследовательских

данных, который, как правило, не должен ограничиваться временными рамками самого исследования. Второй вопрос затрагивает проблему последующего распространения полученных исследователем данных в соответствии с принципами «справедливого» к ним доступа, т. е. с учетом принципов FAIR.

Внедрение принципов FAIR во многом требует изменения самого подхода к организации научных исследований, а также большей открытости при распространении не только полученных научных результатов, но и тех данных, которые необходимы для их воспроизведения.

## Литература

1. *Wilkinson M., Dumontier M., Aalbersberg I., et al.* The FAIR guiding principles for scientific data management and stewardship // *Scientific Data*, 2016. Vol. 3. Art. No. 160018. doi: 10.1038/sdata.2016.18.
2. *Рычихин А. К., Нуреев В. А.* Планирование жизненного цикла информационных ресурсов в (пост)грантовый период // *Системы и средства информатики*, 2020. Т. 30. № 1. С. 135–146.
3. *Hodson S., Jones S., Collins S., et al.* Turning FAIR into reality. — Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. Final report and action plan from the European Commission expert group on FAIR data. 78 p. doi: 10.2777/54599.
4. *Genova F., Aronsen J. M., Beyan O., et al.* Interim recommendations on FAIR metrics for EOSC. — European Commission, FAIR Working Group, EOSC Executive Board, 2020. 18 p. <https://repository.eoscsecretariat.eu/index.php/s/C3a5WkpsFHL6GD3>.
5. ALLEA. Sustainable and FAIR Data Sharing in the Humanities: Recommendations of the ALLEA Working Group E-Humanities / Eds. N. Harrower, M. Maryl, B. Immenhauser, T. Biro. — Berlin, 2020. 43 p. doi: 10.7486/DRI.tq582c863.
6. Examples of data repositories. — Swiss National Science Foundation, 2017. 3 p. [http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/FAIR\\_data\\_repositories\\_examples.pdf](http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/FAIR_data_repositories_examples.pdf).
7. *Edmond J., Tóth-Czifra E.* Open Data for humanists, a pragmatic guide. — Zenodo, 2018. 4 p. <https://zenodo.org/record/2657248#.XyGWBygzaUl>.
8. *Tóth-Czifra E.* The risk of losing thick description: Data management challenges Arts and Humanities face in the evolving FAIR data ecosystem, 2019. halshs-02115505. 29 p. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-02115505/document>.
9. Preparing data for sharing. Guide to social science data archiving. — Amsterdam: Pallas Publications, 2010. DANS Data Guide 8. 60 p. <https://dans.knaw.nl/nl/over/organisatie-beleid/publicaties/DANSpreparingdataforsharing.pdf>.
10. Practical Guide to the International Alignment of Research Data Management // Science Europe: Science Europe Working Group on Research Data, 2018. D/2018/13.324/4. 40 p. [https://www.scienceurope.org/media/jezkhnoo/se\\_rdm\\_practical\\_guide\\_final.pdf](https://www.scienceurope.org/media/jezkhnoo/se_rdm_practical_guide_final.pdf).
11. CESSDA Training Team. CESSDA Data Management Expert Guide. Consortium of European Social Science Data Archives Training Working Group. — Bergen, Norway: CESSDA ERIC, 2020. <https://www.cessda.eu/DMGuide>.
12. Data management. Write a data management plan. <https://libraries.mit.edu/data-management/plan/write>.

13. DMPtool. Data management general guidance. [https://dmptool.org/general\\_guidance](https://dmptool.org/general_guidance).
14. *Kruzhkov M. G.* Approaches to annotation of discourse relations in linguistic corpora // Информатика и её применения, 2017. Т. 11. Вып. 4. С. 118–125.
15. *Schöch C.* Big? Smart? Clean? Messy? Data in the Humanities // J. Digital Humanities, 2013. Vol. 2. No. 3. <http://journalofdigitalhumanities.org/2-3/big-smart-clean-messy-data-in-the-humanities>.
16. Data archiving and networked services. File formats. <https://dans.knaw.nl/en/deposit/information-about-depositing-data/before-depositing/file-formats>.
17. U.K. Data Service. Recommended formats. <https://www.ukdataservice.ac.uk/manage-data/format/recommended-formats>.
18. *Higgins S.* What are metadata standards. — Digital Curation Centre, 2007. <http://www.dcc.ac.uk/resources/briefing-papers/standards-watch-papers/what-are-metadata-standards>.
19. Digital Repository of Ireland. Vocabularies. <https://dri.ie/vocabularies>.
20. Library of Congress subject headings. <http://id.loc.gov/authorities/subjects.html>.
21. CESSDA Training Team. CESSDA Data Management Expert Guide: Diversity in copyright. Consortium of European Social Science Data Archives Training Working Group. — Bergen, Norway: CESSDA ERIC, 2020. <https://www.cessda.eu/Training/Training-Resources/Library/Data-Management-Expert-Guide/5.-Protect/Copyright/Diversity-in-copyright>.
22. CLARIN law overview. <https://www.clarin.eu/content/clic-overview-copyright-law>.
23. Directive 96/9/EC of the European Parliament and of the Council of 11 March 1996 on the legal protection of databases. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1996/9/2019-06-06>.
24. CESSDA Training Team. CESSDA Data Management Expert Guide. Informed Consent. Consortium of European Social Science Data Archives Training Working Group. — Bergen, Norway: CESSDA ERIC, 2020. <https://www.cessda.eu/Training/Training-Resources/Library/Data-Management-Expert-Guide/5.-Protect/Informed-consent>.
25. CESSDA Training Team. CESSDA Data Management Expert Guide. Anonymisation. Consortium of European Social Science Data Archives Training Working Group. — Bergen, Norway: CESSDA ERIC, 2020. <https://www.cessda.eu/Training/Training-Resources/Library/Data-Management-Expert-Guide/5.-Protect/Anonymisation>.
26. Creative Commons. Licenses. <https://creativecommons.org/licenses>.
27. *Abelson H., Adida B., Linksvayer M., et al.* ccREL: The creative commons rights expression language, 2008. <https://wiki.creativecommons.org/images/d/d6/Ccrel-1.0.pdf>.
28. Creative Commons. CC REL by example, 2011. <https://labs.creativecommons.org/2011/ccrel-guide>.
29. Public license selector. <http://ufal.github.io/public-license-selector>.
30. Elra License Wizard. <http://wizard.elda.org>.
31. Licentia by INRIA. <http://licentia.inria.fr>.
32. Creative Commons: Choose a license. <https://creativecommons.org/choose>.
33. CLARIN-ERIC repository details. <https://www.re3data.org/repository/r3d100010209>.

34. EUDAT repository details. <https://www.re3data.org/repository/r3d100011395>.
35. Zenodo repository details. <https://www.re3data.org/repository/r3d100010468>.
36. Lindat. How to deposit. <https://lindat.mff.cuni.cz/repository/xmlui/page/deposit>.
37. EUDAT B2SHARE. <https://eudat.eu/services/userdoc/b2share#UserDocumentation-B2SHARE-Deposit>.
38. CLARIN licensing framework. <https://www.clarin.eu/content/clarin-licensing-framework>.
39. CLARIN license category calculator. <https://www.clarin.eu/content/clarin-license-category-calculator>.
40. EUDAT license selector. <https://eudat.eu/services/userdoc/license-selector>.
41. Zenodo. General policies. <https://about.zenodo.org/policies>.
42. Zenodo principles. <https://about.zenodo.org/principles>.
43. ARCHE filenames, formats and metadata. <https://arche.acdh.oeaw.ac.at/browser/formats-filenames-and-metadata#metadata>.
44. Open archives initiative protocol for metadata harvesting. <https://www.openarchives.org/pmh>.
45. CLARIN depositing services. <https://www.clarin.eu/content/depositing-services>.
46. ARCHE. A Resource Centre for Humanities Related Research in Austria. <https://arche.acdh.oeaw.ac.at/browser>.
47. LINDAT/CLARIAH-CZ. Digital research infrastructure for the language technologies, arts and humanities. <https://lindat.mff.cuni.cz>.

*Поступила в редакцию 04.08.20*

---

---

## **ORGANIZATION OF THE RESEARCH DATA LIFE CYCLE**

*A. K. Rychikhin and V. A. Nuriev*

Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation

**Abstract:** The article investigates the problem of organizing the research data life cycle in the humanities. Data life cycle includes drawing up a data management plan, collecting and/or generating data, determining their structure and format, choosing a license and a digital repository for their long-term preservation, and disseminating the data. The description of each stage is accompanied by an overview of the recommendations of the European working groups on the implementation of the FAIR principles (FAIR — findable, accessible, interoperable, reusable) and links to tools that help implement these principles. A comparison of digital repositories was made according to the criteria of the Swiss National Science Foundation. The goal of the article is to give a short overview of the research data life cycle stages and of the recommendations helping to implement the FAIR data principles.

**Keywords:** research organization; data management plan; data life cycle; digital repositories; FAIR data principles; metadata standardization

**DOI:** 10.14357/08696527200308

## Acknowledgments

The authors would like to thank I. M. Zatsman for his valuable comments and suggestions.

## References

1. Wilkinson, M., M. Dumontier, I. Aalbersberg, *et al.* 2016. The FAIR guiding principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data* 3:160018. doi: 10.1038/sdata.2016.18.
2. Rychikhin, A. K., and V. A. Nuriev. 2020. Planirovanie zhiznennogo tsikla informatsionnykh resursov v (post)grantovyy period [Data life cycle planning in the (post)grant period]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 30(1):135–146.
3. Hodson, S., S. Jones, S. Collins, *et al.* 2018. Turning FAIR into reality. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Final report and action plan from the European Commission expert group on FAIR data. 78 p. doi: 10.2777/54599.
4. Genova, F., J. M. Aronsen, O. Beyan, *et al.* 2020. Interim recommendations on FAIR metrics for EOSC. European Commission, FAIR Working Group, EOSC Executive Board. 18 p. Available at: <https://repository.eoscsecretariat.eu/index.php/s/C3a5WkpsFHL6GD3> (accessed August 11, 2020).
5. Harrower, N., M. Maryl, B. Immenhauser, and T. Biro, eds. 2020. *Sustainable and FAIR data sharing in the humanities: Recommendations of the ALLEA working group E-Humanities*. Berlin. 43 p. doi: 10.7486/DRI.tq582c863.
6. Swiss National Science Foundation. 2017. Examples of data repositories. 3 p. Available at: [http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/FAIR\\_data\\_repositories\\_examples.pdf](http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/FAIR_data_repositories_examples.pdf) (accessed August 11, 2020).
7. Edmond, J., and E. Tóth-Czifra. 2018. *Open Data for humanists, a pragmatic guide*. 4 p. Available at: <https://zenodo.org/record/2657248#.XyGWBygzaUI> (accessed August 11, 2020).
8. Tóth-Czifra, E. 2019. *The risk of losing thick description: Data management challenges Arts and Humanities face in the evolving FAIR data ecosystem*. halshs-02115505. 29 p. Available at: halshs-02115505. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-02115505/document> (accessed August 11, 2020).
9. Preparing data for sharing: Guide to social science data archiving. 2010. Amsterdam: Pallas Publications. DANS Data Guide 8. 60 p. Available at: <https://dans.knaw.nl/nl/over/organisatie-beleid/publicaties/DANSpreparingdataforsharing.pdf> (accessed August 11, 2020).
10. D/2018/13.324/4. Practical guide to the international alignment of research data management. 2018. Science Europe: Science Europe Working Group on Research Data. 40 p. Available at: [https://www.scienceeurope.org/media/jezkhnoo/se\\_rdm\\_practical\\_guide\\_final.pdf](https://www.scienceeurope.org/media/jezkhnoo/se_rdm_practical_guide_final.pdf) (accessed August 11, 2020).

11. CESSDA Training Team. 2020. CESSDA Data Management Expert Guide. Consortium of European Social Science Data Archives Training Working Group. — Bergen, Norway: CESSDA ERIC. Available at: <https://www.cessda.eu/DMGuide> (accessed August 11, 2020).
12. Data management: Write a data management plan. Available at: <https://libraries.mit.edu/data-management/plan/write/> (accessed August 11, 2020).
13. DMPtool: Data management general guidance. Available at: [https://dmptool.org/general\\_guidance](https://dmptool.org/general_guidance) (accessed August 11, 2020).
14. Kruzchkov, M. G. 2017. Approaches to annotation of discourse relations in linguistic corpora. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 11(4):118–125.
15. Schöch, C. 2013. Big? Smart? Clean? Messy? Data in the Humanities. *J. Digital Humanities* 2(3). Available at: <http://journalofdigitalhumanities.org/2-3/big-smart-clean-messy-data-in-the-humanities/> (accessed August 11, 2020).
16. Data archiving and networked services: File formats. Available at: <https://dans.knaw.nl/en/deposit/information-about-depositing-data/before-depositing/file-formats> (accessed August 11, 2020).
17. U.K. data service: Recommended formats. Available at: <https://www.ukdataservice.ac.uk/manage-data/format/recommended-formats> (accessed August 11, 2020).
18. Higgins, S. 2007. What are metadata standards. Digital Curation Centre. Available at: <http://www.dcc.ac.uk/resources/briefing-papers/standards-watch-papers/what-are-metadata-standards> (accessed August 11, 2020).
19. Digital repository of Ireland: Vocabularies. Available at: <https://dri.ie/vocabularies> (accessed August 11, 2020).
20. Library of Congress subject headings. Available at: <http://id.loc.gov/authorities/subjects.html> (accessed August 11, 2020).
21. CESSDA Training Team. 2020. CESSDA Data Management Expert Guide: Diversity in copyright. Consortium of European Social Science Data Archives Training Working Group. — Bergen, Norway: CESSDA ERIC. Available at: <https://www.cessda.eu/Training/Training-Resources/Library/Data-Management-Expert-Guide/5.-Protect/Copyright/Diversity-in-copyright> (accessed August 11, 2020).
22. CLARIN law overview. Available at: <https://www.clarin.eu/content/clic-overview-copyright-law> (accessed August 11, 2020).
23. Directive 96/9/EC of the European Parliament and of the Council of 11 March 1996 on the legal protection of databases. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1996/9/2019-06-06> (accessed August 11, 2020).
24. CESSDA Training Team. 2020. CESSDA Data Management Expert Guide: Informed Consent. Consortium of European Social Science Data Archives (CESSDA) Training Working Group. — Bergen, Norway: CESSDA ERIC. Available at: <https://www.cessda.eu/Training/Training-Resources/Library/Data-Management-Expert-Guide/5.-Protect/Informed-consent> (accessed August 11, 2020).
25. CESSDA Training Team. 2020. CESSDA Data Management Expert Guide: Anonymisation. Consortium of European Social Science Data Archives Training Working Group. — Bergen, Norway: CESSDA ERIC. Available at: <https://www.cessda.eu/Training/Training-Resources/Library/Data-Management-Expert-Guide/5.-Protect/Anonymisation> (accessed August 11, 2020).

26. Creative Commons: Licenses. Available at: <https://creativecommons.org/licenses/> (accessed August 11, 2020).
27. Abelson, H., B. Adida, and M. Linksvayer. 2008. ccREL: The creative commons rights expression language. Available at: <https://wiki.creativecommons.org/images/d/d6/CcREL-1.0.pdf> (accessed August 11, 2020).
28. Creative Commons: CC REL by example. 2011. Available at: <https://labs.creativecommons.org/2011/ccrel-guide/> (accessed August 11, 2020).
29. Public license selector. Available at: <http://ufal.github.io/public-license-selector/> (accessed August 11, 2020).
30. Elra License Wizard. Available at: <http://wizard.elda.org/> (accessed August 11, 2020).
31. Licentia by INRIA. Available at: <http://licentia.inria.fr/> (accessed August 11, 2020).
32. Creative Commons: Choose a license. Available at: <https://creativecommons.org/choose/> (accessed August 11, 2020).
33. CLARIN-ERIC repository details. Available at: <https://www.re3data.org/repository/r3d100010209> (accessed August 11, 2020).
34. EUDAT repository details. Available at: <https://www.re3data.org/repository/r3d100011395> (accessed August 11, 2020).
35. Zenodo repository details. Available at: <https://www.re3data.org/repository/r3d100010468> (accessed August 11, 2020).
36. Lindat: How to deposit. Available at: <https://lindat.mff.cuni.cz/repository/xmlui/page/deposit> (accessed August 11, 2020).
37. EUDAT B2SHARE. Available at: <https://eudat.eu/services/userdoc/b2share#UserDocumentation-B2SHARE-Deposit> (accessed August 11, 2020).
38. CLARIN licensing framework. Available at: <https://www.clarin.eu/content/clarin-licensing-framework> (accessed August 11, 2020).
39. CLARIN license category calculator. Available at: <https://www.clarin.eu/content/clarin-license-category-calculator> (accessed August 11, 2020).
40. EUDAT license selector. Available at: <https://eudat.eu/services/userdoc/license-selector> (accessed August 11, 2020).
41. Zenodo general policies. Available at: <https://about.zenodo.org/policies/> (accessed August 11, 2020).
42. Zenodo principles. Available at: <https://about.zenodo.org/principles/> (accessed August 11, 2020).
43. ARCHE filenames, formats and metadata. Available at: <https://arche.acdh.oeaw.ac.at/browser/formats-filenames-and-metadata#metadata> (accessed August 11, 2020).
44. Open archives initiative protocol for metadata harvesting. Available at: <https://www.openarchives.org/pmh/> (accessed August 11, 2020).
45. CLARIN depositing services. Available at: <https://www.clarin.eu/content/depositing-services> (accessed August 11, 2020).
46. ARCHE. A Resource Centre for Humanities Related Research in Austria. Available at: <https://arche.acdh.oeaw.ac.at/browser/> (accessed August 11, 2020).
47. LINDAT/CLARIAH-CZ. Digital research infrastructure for the language technologies, arts and humanities. Available at: <https://lindat.mff.cuni.cz> (accessed August 11, 2020).

*Received August 4, 2020*

## **Contributors**

**Rychikhin Aleksei K.** (b. 1995) — engineer, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; ak.rychikhin@gmail.com.

**Nuriev Vitaly A.** (b. 1980) — Candidate of Science (PhD) in philology, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; nurieff.v@gmail.com



## УГРОЗЫ И РИСКИ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНЫХ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОГРАММ В РАМКАХ ПРИОРИТЕТОВ СТРАТЕГИИ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ\*

*А. А. Зацаринный<sup>1</sup>, А. П. Сучков<sup>2</sup>*

**Аннотация:** Рассмотрены актуальные проблемы реализации Стратегии научно-технологического развития России в рамках принятых приоритетов на основе комплексных научно-технических программ исследований и разработок (КНТП), прежде всего в рамках первого приоритета. Приведены методические подходы к классификации рисков и угроз на основе их систематизации, которые препятствуют выполнению принятых КНТП. Предложен классификатор угроз, позволяющий получить некоторое цельное представление об эффективности запланированного в КНТП комплекса мероприятий. Дана оценка потенциальных рисков и угроз применительно к КНТП «Искусственный интеллект как драйвер цифровой трансформации экономики России», разработанной Федеральным исследовательским центром «Информатика и управление» РАН. Показано, что основные риски обусловлены недостаточным стимулированием научных исследований и слабой востребованностью инновационных научных результатов.

**Ключевые слова:** комплексная научно-техническая программа; стратегия научно-технологического развития; классификация рисков и угроз; искусственный интеллект; научные исследования

**DOI:** 10.14357/08696527200309

### 1 Введение

В целях обеспечения реализации приоритетов, определенных Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации [1], Правительство РФ приняло Постановление, в котором утверждаются Правила разработки, утверждения, реализации, корректировки и завершения КНТП полного инновационного цикла [2]. Комплексная научно-техническая программа определена как совокупность скоординированных по задачам, срокам и ресурсам мероприятий, включающих в себя научные исследования и этапы инновационного

---

\* Статья подготовлена при поддержке РФФИ (проект 18-29-03091).

<sup>1</sup> Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, AZatsarinny@ipiran.ru

<sup>2</sup> Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, ASuchkov@ipiran.ru

цикла до создания технологий, продукции и оказания услуг. Предполагается, что КНТП формируются для создания прорывных отечественных технологий и получения результатов, обеспечивающих повышение конкурентоспособности экономики. Другими словами, КНТП рассматриваются как один из действенных инструментов для выполнения амбициозной задачи вхождения России в пятерку ведущих экономик мира.

Заметим, что эта задача представляется весьма сложной, учитывая нынешнее состояние экономики России, которая в рейтинге 2019 г. занимает только 11-е место [3]. Реально войти в пятерку ведущих стран (ее в 2019 г. составили США, Китай, Япония, Германия и Великобритания) Россия может только на основе повышения эффективности научных исследований, быстрой инновационной реализации результатов и, как следствие, увеличения доли высокотехнологичной продукции в производстве. При этом в Стратегии отмечено, что в России крайне низкие показатели в этой части (доля инновационной продукции всего 8%–9%, доля экспорта высокотехнологичной продукции в мировом объеме всего 0,4%) [1].

В связи с этим введение на государственном уровне такого инструмента, как КНТП, представляется важным и своевременным.

Вместе с тем, чтобы обозначенный инструмент в форме КНТП был приведен в действие, необходима эффективная организация работ. Так, в соответствии с Постановлением должна быть определена организационная система субъектов процесса реализации КНТП (инициатор, ответственный исполнитель, соисполнитель, заказчик, участники, базовая организация), а также весьма непростая организационная схема их взаимодействия.

В связи с этим представляется актуальным рассмотрение и анализ потенциальных угроз и рисков в рамках осуществления указанных процессов. В статье предложены методические подходы к созданию классификации таких угроз на основе их систематизации с целью получения некоторого цельного представления об эффективности запланированного в КНТП комплекса работ согласно замыслу Постановления [2].

Отметим, что в рамках приоритетов научно-технологического развития России активно работают научные коллективы Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН (ФИЦ ИУ РАН), который сосредоточил свои научные ресурсы и компетенции на исследовании научных проблем, определяемых прежде всего первым приоритетом, на основе принципиального подхода, суть которого — синергетика теории и практики, предполагающая практическую направленность каждого результата фундаментальных исследований [4].

Поскольку ФИЦ ИУ РАН выступил инициатором КНТП — «Искусственный интеллект как драйвер цифровой трансформации экономики России», в статье дана предварительная оценка потенциальных рисков и угроз применительно к этой программе.

## 2 Методические подходы к классификации угроз

Используя опыт анализа угроз и уязвимостей сложных систем [5, 6], можно отметить, что негативные воздействия на ход формирования и реализации КНТП могут оказывать как внешние, так и внутренние факторы на всех стадиях жизненного цикла (ЖЦ).

**К внутренним факторам** отнесем те, которые обуславливаются процессами организации выполнения КНТП. Так, основным внутренним фактором является деятельность системы субъектов процесса реализации КНТП, связанная с ее разработкой и реализацией. При этом воздействие этого фактора может быть как положительным, так и отрицательным.

**Внешние факторы** находятся вне Программы и могут оказывать также аналогичное воздействие. Так, в «процессе определения потребностей и требований заинтересованной стороны» нужно учитывать интересы сторон, которые выступают *против системы* (внешняя угроза) или *друг против друга* (внутренняя угроза) [7]. Если интересы заинтересованных сторон направлены друг против друга, но не выступают против системы, данный процесс предназначен для достижения согласия среди заинтересованных сторон с целью установления общего множества приемлемых требований.

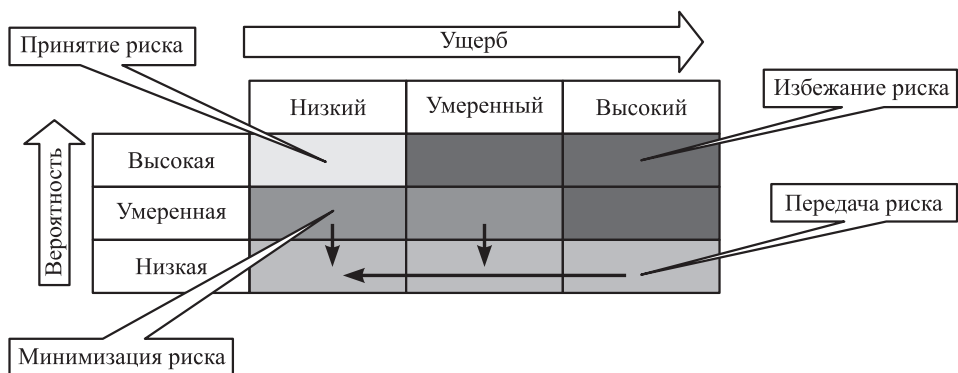
Противодействие тех, кто находится в оппозиции к системе, парируется с использованием процессов управления рисками, анализа угроз, процессами системного анализа или системных требований к безопасности, адаптируемости или стойкости. В этом случае, когда сталкиваются с противодействием, потребности заинтересованной стороны не удовлетворяются, а, скорее, направляются таким способом, чтобы помочь обеспечить системные гарантии и целостность.

Таким образом, в качестве **первого критерия** классификации угроз можно выделить негативное воздействие внешних и внутренних факторов.

**Второй критерий** классификации угроз определяет разделение их по стадиям и процессам ЖЦ. В соответствии с [7], типичные стадии ЖЦ системы включают замысел, разработку, производство, применение, поддержку и выведение из эксплуатации, которые реализуются регламентированными процессами ЖЦ. Применительно к ранним стадиям ЖЦ, к которым, как правило, относят замысел, разработку и производство, подлежат анализу с точки зрения оценки угроз следующие процессы:

- определение системных требований;
- определение потребностей и требований заинтересованной стороны;
- управление решениями;
- приобретение;
- верификация, валидация и приемка.

**Третий критерий** служит для дифференциации угроз на основе анализа рисков их воздействия на Программу. Риски количественно оценивают угрозу



**Рис. 1** Дифференциация рисков Программы

с точки зрения вероятности ее реализации и возможного ущерба. Их анализ позволяет выделить из большого множества существующих угроз наиболее существенные.

На основе стандартного подхода можно определить четыре степени опасности угроз (рис. 1):

- (1) угрозы с приемлемым риском, зачастую устранимые организационными мерами;
- (2) угрозы с минимизируемым риском — путем изменения Программы с целью уменьшения вероятности риска;
- (3) угрозы с передаваемым риском — путем страхования, что требует выделения дополнительных ресурсов;
- (4) неприемлемые угрозы, парируемые изменениями в Программе, позволяющими избежать этих угроз.

### 3 Классификатор угроз

Классификатор сформирован на основе приведенных выше критериев и положений [7] и приведен на рис. 2.

Основные угрозы на стадии замысла и формирования Программы могут быть обусловлены как внутренними, так и внешними причинами. Внутренние причины — конфликт интересов сторон, некомпетентность заказчика и исполнителя, отсутствие независимой экспертной оценки — могут привести к некорректному целеполаганию. Целеполагание здесь понимается в широком смысле и включает не только формулировку целей и задач Программы, но и системные требования с учетом интересов сторон, перечень целевых показателей, критерии, этапность



Процессы ЖЦ Программы:

- ① определения системных требований
- ② определения потребностей и требований заинтересованной стороны
- ③ управления решениями
- ④ приобретения
- ⑤ верификации, валидации и приемки

Категории опасности угроз:

- 1 с приемным риском
- 2 с минимизируемым риском
- 3 с передаваемым риском (страхование)
- 4 неприемлемые угрозы

**Рис. 2** Классификатор основных групп угроз

и элементы планирования. При этом формулируемые цели должны быть конкретными, измеримыми, достижимыми, ресурсообеспеченными и привязанными к времени.

Учет внешних источников угроз позволяет на стадии замысла Программы ослабить риски невозможности выполнения требований и реализации решений в силу внешних ограничений (санкций) и организационных проблем, связанных с нормативно-правовой базой и отсутствием независимого контроля.

Степень опасности угроз на данной стадии ЖЦ высокая, так как угрожает существованию Программы и может привести к функционально критичным для Программы недостаткам.

Основные уязвимости на **стадии реализации** Программы во многом совпадают со стадией замысла за следующими исключениями. В процессе управления техническими решениями может выясниться невозможность реализации важнейших функциональных требований в силу невозможности приобретения зарубежных технологий, например из-за санкций, и отсутствия отечественных аналогов (реализуется уязвимость *технологическое отставание*) или в силу существования *нерешенных научно-технических проблем*, которое может быть обусловлено или *наличием общенаучной проблемы*, или *научно-техническим отставанием*. Кроме того, на данной стадии ЖЦ Программы понижается степень опасности уязвимостей до средней и умеренной, так как большинство из них устраняется выделением дополнительных ресурсов или организационными мерами. Важнейшая уязвимость на всех стадиях ЖЦ — *отсутствие независимого экспертного обеспечения и научного сопровождения*, что не позволяет осуществлять объективную оценку как требований к разрабатываемым системам, так и результатов работы исполнителей. Одной из особенностей угроз, связанных с проблематикой научных исследований, является возможность получения отрицательного научного результата, что должно считаться несомненно серьезным, но принимаемым риском.

#### **4 Комплексная научно-техническая программа «Искусственный интеллект как драйвер цифровой трансформации экономики России» и оценка потенциальных угроз ее невыполнения**

Первым приоритетом в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации определен «переход к передовым цифровым, интеллектуальным, производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта» [1]. И выделение такого приоритета вполне оправдано стратегическим курсом руководства страны на цифровую трансформацию общества. При этом особую значимость в рамках первого приоритета приобретает проблематика искусственного интеллекта (ИИ), который сегодня по праву относится к одному из мегатрендов развития информационных технологий цифровой экономики. Поэтому технологии ИИ становятся одним из доминирующих факторов развития современного общества. Об этом свидетельствует ряд фактов.

Так, по прогнозам известной компании Accenture (США) [8], ИИ может привести к созданию «виртуальной рабочей силы»; наибольший рост за счет ИИ ожидается в американской экономике (4,6%), в Финляндии (4,1%) и Великобритании (3,9%) [8, 9]. Президент США своим Указом «О сохранении американского лидерства в области искусственного интеллекта» определил ком-

плекс мероприятий по интенсификации работ в области ИИ [10]. Стратегии по развитию ИИ приняты в десятках стран мира.

В России Указом Президента РФ от 10.10.2019 № 490 также утверждена Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 г. [9].

К сожалению, Россия не входит в число ведущих стран мира в области ИИ. Достаточно упомянуть о публикационной активности российских ученых за последние десять лет (2009–2019 гг.): в среднем каждая четвертая публикация — американская, каждая пятая — китайская, а российская — одна из ста [11].

В связи с этим инициатива ФИЦ ИУ РАН по разработке КНТП «Искусственный интеллект как драйвер цифровой трансформации экономики России» оказалась безусловно актуальной. Так, научными коллективами Центра в рамках Совета по приоритетным направлениям Стратегии научно-технологического развития России в октябре 2018 г. был разработан и представлен проект Концепции комплексной научно-технической программы «Искусственный интеллект как драйвер цифровой трансформации экономики России», а в мае 2019 г. — проект комплексной программы. Оба документа были одобрены Советом (председатель — академик РАН И. А. Каляев).

В КНТП предусмотрен комплекс мероприятий, охватывающих все стадии ЖЦ (фундаментальные исследования, разработка базовых технологий ИИ, создание инструментов и аппаратно-программных средств ИИ, внедрение технологий ИИ в различные сферы цифровой экономики, подготовка кадров в области ИИ). Планируется создание и развитие 13 базовых технологий ИИ, а также разработка и внедрение более 60 прикладных технологий ИИ, 8 университетских программ подготовки специалистов, создание не менее 5 научно-образовательных центров мирового уровня в области ИИ, модели правового регулирования интеллектуальных технологий для баланса между сохранением фундаментальных общественных и правовых ценностей, а также аппаратно-программной инфраструктуры и платформы поддержки решения задач ИИ, в том числе специализированных суперкомпьютерных центров для решения задач в области ИИ и глубокого машинного обучения.

Важно, что Программа предусматривает комплекс работ, охватывающих все стадии ЖЦ систем, включая фундаментальные и прикладные исследования, разработку и внедрение технологий и конкретных комплексов, а также подготовку кадров. При этом сама Программа является, по существу, системой, развивающейся во времени и включающей в общем случае стадии замысла, формирования и согласования требований, а также их последующей реализации. Таким образом, КНТП, одобренная Советом по приоритетным направлениям Стратегии научно-технологического развития России, стала, по существу, основой для постановки научно-практических задач в рамках реализации утвержденной Президентом Стратегии.

Вместе с тем уже сейчас можно говорить о сложности реализации КНТП, обусловленной прежде всего организационно-методическими проблемами, кото-

рые создают реальные риски либо невыполнения Программы, либо снижения эффективности запланированных в ней мероприятий.

## 5 Оценка потенциальных угроз невыполнения комплексной научно-технической программы «Искусственный интеллект как драйвер цифровой трансформации экономики России»

В этом разделе сделана попытка формализованной оценки рисков невыполнения КНТП с учетом предложенной выше классификации и дифференциации угроз по четырем степеням.

**По первому критерию**, который включает внутренние и внешние факторы. Внутренние факторы определяются содержанием КНТП, а также системой субъектов для ее выполнения.

**Вероятность ошибки целеполагания — низкая.** Такая оценка обусловлена тем, что целью КНТП ставится создание технологий ИИ, обеспечивающих повышение производительности труда, создание новых видов продукции, рост экономического благосостояния, продолжительности и качества жизни российского общества, укрепление национальной безопасности и достижение национальных приоритетов на международной арене. Другими словами, целеполагание КНТП в полной мере соответствует первому приоритету Стратегии научно-технологического развития и принятым документам по цифровой трансформации общества.

**Вероятность ошибки реализации — умеренная.** В настоящее время затруднительно сделать объективную оценку, так как еще не сформирована система субъектов, определяющая организационные, методические и финансовые процессы выполнения Программы. При этом ключевым субъектом в этой системе становится ответственный исполнитель, на которого возлагается организация и координация работ, оперативное управление и контроль в рамках Программы. Однако ответственный исполнитель до сих пор не определен.

В этих условиях с определенной степенью условности примем вероятность ошибки реализации как умеренную.

Гораздо сложнее обстоят дела с оценкой **внешних факторов**. К ним следует отнести определенный конфликт между КНТП и утвержденной Национальной стратегией развития искусственного интеллекта [9]. Кратко о сути этого конфликта [12].

Стратегия разработана ПАО «Сбербанк» без привлечения научных организаций, и среди определенных в ней принципов, к сожалению, отсутствует акцент на интенсивное проведение научных исследований в сфере ИИ. Так, в качестве основной цели развития ИИ в России определено *«формирование самостоятельной индустрии искусственного интеллекта, массовое использование технологий искусственного интеллекта в национальной экономике и обеспечение международного лидерства по отдельным направлениям применения технологий искусственного интеллекта»* [9]. Более того, при подготовке этого документа



не были в полной мере учтены замечания ведущих российских ученых в области ИИ, не нашел отражения тот факт, что в России уже более 30 лет существует профессиональное сообщество и научные школы в области ИИ, вполне достойно представленные как на европейском, так и на мировом уровне.

Тем не менее этот конфликт не является принципиальным, поскольку оба документа направлены на достижение целей, связанных со скорейшим продвижением методов и технологий ИИ в России.

Вместе с тем среди внешних факторов, которые **позитивно** влияют на выполнение КНТП, необходимо назвать:

- государственный курс на цифровую трансформацию общества, закрепленный в ряде нормативных документов, в том числе в Национальных проектах «Цифровая экономика», «Наука», «Инфраструктура»;
- достаточно высокий уровень базового физико-математического образования в России (МГУ им. М. В. Ломоносова, Физтех, МИФИ и др.), научные школы в области математики и естественных наук (ФИЦ ИУ РАН, ИПМ РАН им. М. В. Келдыша, ИПУ РАН им. Трапезникова и др.);
- наличие приемлемой базовой ИКТ-инфраструктуры (распространение 4G-сетей, большое число функциональных смартфонов, доступность сети Интернет);
- потенциально огромный внутренний рынок для широкого использования технологий ИИ в промышленности, добывающих отраслях, сельском хозяйстве, энергетике, транспорте.

Однако существует и целый ряд внешних факторов, которые **негативно** будут влиять на выполнение КНТП. Выделим следующие:

- практическое отсутствие отечественных производителей аппаратного обеспечения для технологий ИИ;
- отсутствие отечественного базового программного обеспечения для реализации методов и алгоритмов ИИ;
- слабый уровень развития облачных систем и технологий;
- недостаточный уровень специализированных вычислительных мощностей;
- недостаточное число высококвалифицированных кадров в сфере ИИ (ученых, инженеров, разработчиков, в том числе в связи с отъездом талантливых специалистов из страны);
- несовершенство нормативно-правовой базы в области применения ИИ в различных сферах, включая защиту прав граждан;
- недостаточный уровень общественного доверия и общей готовности населения к широкому применению технологий ИИ, особенно в сферах опасного производства, транспорта, здравоохранения и других областях с высокими рисками;

- практическое отсутствие мер, направленных на создание благоприятных условий для внедрения российских средств ИИ на мировом уровне в условиях возрастающей конкурентности в этой области;
- огромные потенциальные возможности технологий ИИ для их применения в противоправных целях (кибермошенничество, включая кражи, терроризм и т. п.);
- санкции (как существующие, так и возможные новые) на запрет доступа к современным технологиям и средствам, зарубежным рынкам, на поставку аппаратного и программного обеспечения, специфических средств жизнеобеспечения и др.).

Приведенные факторы создают целый ряд барьеров для разработки и внедрения решений ИИ в России и реализации КНТП.

Наряду с приведенными выше внешними факторами, имеющими негативный характер, следует отдельно отметить такой принципиально важный вопрос, как финансирование КНТП. Так, финансовое обеспечение реализации комплексной программы планируется осуществлять ответственными исполнителями, соисполнителями и участниками КНТП. При этом в качестве источников финансирования определены: федеральный бюджет, бюджеты субъектов Российской Федерации, местные бюджеты и средства внебюджетных источников. Другими словами, целевое финансирование КНТП не предусматривается. Этот фактор создает наибольшие риски невыполнения КНТП.

Таким образом, внешние факторы по совокупности позволяют оценить **вероятность невыполнения КНТП как высокую**.

Каковы пути нейтрализации выявленных угроз и рисков? Очевидно, что их можно представить в виде двух групп.

**Первая группа** включает комплекс мероприятий, который должен кардинально изменить отношение в целом к науке в России. Без этого обеспечить ведущее положение страны в области ИИ невозможно. По данным Института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ [13], Россия находится на 10-м месте в рейтинге ведущих стран мира по величине затрат на научные исследования и разработки. Однако по доле затрат на науку в валовом внутреннем продукте (ВВП) наша страна находится на 34-м месте (с показателем 1,1%), по величине затрат в расчете на одного исследователя — на 47-м месте (93 тыс. долл. США в год), а по численности исследователей в расчете на 10 тыс. занятых в экономике — на 34-м месте. Для сравнения: лидеры мировой экономики США и Китай выделяют на финансирование науки из своих огромных ВВП соответственно 2,74% (11-е место) и 2,12% (15-е место). А странами-лидерами, руководство которых осознало роль и значимость научных исследований в развитии экономики и общества и поэтому обеспечивает опережающее их финансирование, стали Израиль (4,45%), Финляндия (4,30%), Южная Корея (4,24%), Швеция (4,12%), Япония (3,92%). Отсюда следует, что необходимо обеспечить повышение уровня финансирования научных исследований **не менее чем в 2 раза (до 2,2%–2,5% от ВВП)**.

Необходимо в корне изменить систему оценки научных исследований. Сегодняшняя оценка по числу публикаций в изданиях, цитируемых в зарубежных базах (WoS, Scopus и др.), не позволяет реально оценить состояние российской науки и не способствует повышению результативности научных исследований. Более того, в этом году эта оценка стала еще более абстрактно формализованной — в числе баллов, которые являются весьма сложной функцией от реальных научных результатов. В таких подходах кроется принципиальное смешение понятий: оценка научной деятельности конкретных исследователей и оценка результативности научной деятельности научных коллективов и организаций. Поэтому необходимо вернуться к системе оценки научных организаций по достигнутым научным результатам, реализуемым в конкретных областях промышленности и экономики.

**Вторая группа** включает проведение конкретных организационных мероприятий применительно к КНТП: скорейшее определение всех субъектов реализации КНТП, прежде всего ответственного исполнителя, выработку единой согласованной позиции в рамках системы субъектов реализации КНТП, а также утвержденной Национальной стратегии. Совершенно очевидно, что мероприятия в рамках этих двух документов должны дополнять друг друга с акцентами:

- в КНТП — на научную обоснованность на основе фундаментальных исследований и создание базовых отечественных наукоемких технологий ИИ, а также целевую подготовку высококвалифицированных специалистов, способных эффективно применять технологии ИИ;
- в Национальной стратегии — на создание прикладных технологий на основе базовых, массовое производство изделий, реализующих эти технологии, а также вопросы их внедрения и применения в различных областях.

Очевидно, что и вопросы определения порядка и источников финансирования должны быть дифференцированы по разделам программы:

- фундаментальные исследования и подготовка кадров — Минобрнауки России;
- базовые технологии — Минобрнауки совместно с заинтересованными ведомствами;
- прикладные технологии и их внедрение — конкретными заинтересованными заказчиками, включая государственные и коммерческие организации.

## 6 Заключение

Комплексные научно-технические программы исследований и разработок являются актуальным инструментом реализации Стратегии научно-технологического развития России в рамках принятых приоритетов. Предлагаемые в статье методические подходы к классификации рисков и угроз на основе их систематизации позволяют дать качественную оценку возможности выполнения конкретных

КНТП, а также получить некоторое цельное представление об эффективности запланированного в КНТП комплекса мероприятий.

Проведенная оценка потенциальных рисков и угроз применительно к КНТП «Искусственный интеллект как драйвер цифровой трансформации экономики России», разработанной ФИЦ ИУ РАН, показала, что с достаточно высокой вероятностью эта Программа может быть не выполнена. При этом основные риски обусловлены внешними факторами: недостаточным стимулированием научных исследований и нерешенностью организационных вопросов.

Сегодня актуальной становится синергетика теории и практики — результатов фундаментальных исследований и их реализации в конкретных системах и технологиях. Для этого необходимо объединить и науку (фундаментальную, прикладную, военную), и технологии, и промышленное производство.

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук обладает большим научным потенциалом в области компьютерных наук, а также уникальным синтезом результатов глубоких фундаментальных исследований в области информатики и огромного научно-практического опыта разработки, внедрения, модернизации и сопровождения информационно-телекоммуникационных систем в интересах органов государственной власти на различных уровнях.

## Литература

1. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642. <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/uZiATIOJiq5tZsJgqcZLY9YyL8PWTXQb.pdf>.
2. Об утверждении Правил разработки, утверждения, реализации, корректировки и завершения комплексных научно-технических программ полного инновационного цикла и комплексных научно-технических проектов полного инновационного цикла в целях обеспечения реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 19.02.2019 № 162. <http://static.government.ru/media/files/TX7NZe8Am8Ovkf0UEgDVgliHlktbAUK2.pdf>.
3. Рейтинг экономики развитых стран мира // VisaSam.ru, 21.06.2020. <https://visasam.ru/emigration/vybor/ekonomika-stran-mira-2.html>.
4. Зацаринный А. А. Научные исследования в интересах цифровой трансформации общества в условиях первого приоритета научно-технологического развития России // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности / Под ред. Г. Г. Малинецкого. — М.: ИПМ им. М. В. Келдыша, 2020 (в печати).
5. Сучков А. П. Классификация уязвимостей интегрированных систем управления на ранних стадиях жизненного цикла // Системы и средства информатики, 2017. Т. 27. № 4. С. 132–143.
6. Сучков А. П. Процессная модель модернизации и развития информационных систем на всех стадиях жизненного цикла // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 4. С. 84–95.

7. ГОСТ Р 56923-2016 / ISO / IEC TR 24748-3:2011. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Управление жизненным циклом. Часть 3. Руководство по применению ИСО/МЭК 12207 (Процессы жизненного цикла программных средств). — М.: Стандартинформ, 2016. 217 с.
8. Accenture: Искусственный интеллект ускорит ежегодные темпы экономического роста к 2035 году // Инс. / Новости, 01.02.2017. <https://incussia.ru/news/accenture-iskusstvennyy-intellekt-uskorit-ezhegodnye-tempy-ekonomicheskogo-rosta-k-2035-godu>.
9. О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 № 490.
10. Executive Order on Maintaining American Leadership in Artificial Intelligence. 11.02.2019. <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/executive-order-maintaining-american-leadership-artificial-intelligence/>.
11. Городникова Н. В., Гохберг Л. М., Дитковский К. А. и др. Наука. Технологии. Инновации: 2019: Краткий статистический сборник. — М.: НИУ ВШЭ, 2019. 84 с.
12. Устинова А. Ученые призвали доработать нацстратегию по искусственному интеллекту // ComNews, 28.06.2019. <https://www.comnews.ru/content/120485/2019-06-28/uchenye-prizvali-dorabotat-nacstrategiyu-po-iskusstvennomu-intellektu>.
13. Расходы на науку: топ-10 стран мира // Рамблер / Новости, 25.07.2018. <https://news.rambler.ru/other/40408588-rashody-na-nauku-top-10-stran-mira/>.

*Поступила в редакцию 02.04.20*

---

---

## THREATS AND RISKS OF IMPLEMENTING COMPLEX SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROGRAMS WITHIN THE PRIORITIES OF THE RUSSIAN SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT STRATEGY

*A. A. Zatsarinny and A. P. Suchkov*

Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation

**Abstract:** The article deals with the actual problems of implementing the strategy of scientific and technological development of Russia in the framework of accepted priorities based on complex scientific and technical research and development programs (CSTP), primarily within the first priority. Methodological approaches to classification of risks and threats based on their systematization, which hinder implementation of the adopted CSTP, are presented. A threat classifier is proposed that allows one to get a complete picture of effectiveness of the planned set of measures in the CSTP. An assessment of potential risks and threats in relation to the “Artificial intelligence as a driver of digital transformation of the Russian economy,” developed by the Federal Research Center “Computer

Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, is given. It is shown that the main risks are caused by insufficient stimulation of scientific research and low demand for innovative scientific results.

**Keywords:** complex scientific and technical program; strategy of scientific and technological development; classification of risks and threats; artificial intelligence; scientific research

**DOI:** 10.14357/08696527200309

## Acknowledgments

The paper was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 18-29-03091).

## References

1. O strategii nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii: ukaz Prezidenta ot 01.12.2016 No. 642 [About strategy of scientific and technological development of the Russian Federation. Presidential Decree No. 642 dated 01.12.2016]. Available at: <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/uZiATIOJiq5tZsJgqcZLY9YyL8PWTXQb.pdf> (accessed August 14, 2020).
2. Ob utverzhdenii Pravil razrabotki, utverzhdeniya, realizatsii, korrektirovki i zaversheniya kompleksnykh nauchno-tekhnicheskikh programm polnogo innovatsionnogo tsikla i kompleksnykh nauchno-tekhnicheskikh proektov polnogo innovatsionnogo tsikla v tselyakh obespecheniya realizatsii prioritetov nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii: Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 19.02.2019 No. 162 [On the approval of the Rules for the development, approval, implementation, adjustment, and completion of complex scientific and technical programs of a full innovation cycle and complex scientific and technical projects of a full innovation cycle in order to ensure the implementation of the priorities of scientific and technological development of the Russian Federation: Government decree dated February 16, 2019 No. 162]. Available at: <http://static.government.ru/media/files/TX7NZe8Am8Ovkf0UEgDVgliHIktbAUK2.pdf> (accessed August 14, 2020).
3. Reyting ekonomiki razvitykh stran mira [World developed countries economy rating]. 21.06.2020. VisaSam.ru. Available at: <https://visasam.ru/emigration/vybor/ekonomika-stran-mira-2.html> (accessed August 14, 2020).
4. Zatsarinny, A. A. 2020 (in press). Nauchnye issledovaniya v interesakh tsifrovoy transformatsii obshchestva v usloviyakh pervogo prioriteta nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossii [Scientific research in the interests of the digital transformation of society in the context of the first priority of the scientific and technological development of Russia]. *Proektirovanie budushchego. Problemy tsifrovoy real'nosti* [The design of the future. Problems of digital reality]. Ed. G. G. Malinetskiy. Moscow: IPM.
5. Suchkov, A. P. 2017. Klassifikatsiya uyazvimostey integrirovannykh sistem upravleniya na rannikh stadiyakh zhiznennogo tsikla [Classification of vulnerabilities of integrated management systems at the early stages of the lifecycle]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 27(4):132–143.
6. Suchkov, A. P. 2018. Protsessnaya model' modernizatsii i razvitiya informatsionnykh sistem na vseh stadiyakh zhiznennogo tsikla [Process model of modernization and

- development of information systems at all stages of the life cycle]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 28(4):84–95.
7. GOST R 56923-2016/ISO/IEC TR 24748-3:2011. 2016. Informatsionnye tekhnologii. Sistemnaya i programmnyaya inzheneriya. Upravlenie zhiznennym tsiklom. Chast' 3. Rukovodstvo po primeneniyu ISO/MEK 12207 (Protssy zhiznennogo tsikla programnykh sredstv) [Information technologies. Systems and software engineering. Life cycle management. Part 3. Guide to the application of ISO/IEC 12207 (Software life cycle processes)]. Moscow: Standardinform Publ. 217 p.
  8. Accenture: Iskusstvennyy intellekt uskorit ezhegodnye tempy ekonomicheskogo rosta k 2035 godu [Accenture: Artificial intelligence will accelerate the annual rate of economic growth by 2035]. 01.02.2017. Inc./Novosti [Inc./News]. Available at: <https://incrossia.ru/news/accenture-iskusstvennyy-intellekt-uskorit-ezhegodnye-tempy-ekonomicheskogo-rosta-k-2035-godu/> (accessed August 14, 2020).
  9. O razvitii iskusstvennogo intellekta v Rossiyskoy Federatsii: ukaz Prezidenta ot 10.10.2019 No. 490 [About strategy of scientific and technological development of the Russian Federation. Presidential Decree No. 490 dated 10.10.2019]. Available at: <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/AH4x6HgKWANwVtMOfPDhcbRpv d1HCCsv.pdf> (accessed August 14, 2020).
  10. Executive Order on Maintaining American Leadership in Artificial Intelligence. 11.02.2019. Available at: <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/executive-order-maintaining-american-leadership-artificial-intelligence/> (accessed August 14, 2020).
  11. Gorodnikova, N. V., L. M. Gokhberg, K. A. Ditkovskiy, *et. al.* 2019. *Nauka. Tehnologii. Innovatsii: Kratkiy statisticheskiy sbornik* [The science. Technologies. Innovations: A brief statistical compendium]. Moscow: NIU HSE. 84 p.
  12. Ustinova, A. 28.06.2019. Uchenye prizvali dorabotat' natsstrategiyu po iskusstvennomu intellektu [Scientists urged to finalize the national strategy for artificial intelligence]. *ComNews*. Available at: <https://www.comnews.ru/content/120485/2019-06-28/uchenye-prizvali-dorabotat-nacstrategiyu-po-iskusstvennomu-intellektu> (accessed August 14, 2020).
  13. Raskhody na nauku: top-10 stran mira [Spending on science: Top 10 countries in the world]. 23.07.2018. Rambler/Novosti [Rambler/News]. Available at: <https://news.rambler.ru/other/40408588-rashody-na-nauku-top-10-stran-mira/> (accessed August 14, 2020).

*Received April 2, 2020*

## Contributors

**Zatsarinny Alexander A.** (b. 1951) — Doctor of Science in technology, professor, Deputy Director, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences (FRC CSC RAS); principal scientist, Institute of Informatics Problems, FRC CSC RAS; 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; AZatsarinny@ipiran.ru

**Suchkov Alexander P.** (b. 1954) — Doctor of Science in technology, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; ASuchkov@frcsc.ru

# АЛГОРИТМЫ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫМИ СЕРВИСАМИ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И ВЫПОЛНЕНИЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ\*

*А. П. Сучков*<sup>1</sup>

**Аннотация:** Рассматриваются методы и алгоритмы анализа данных системы управления научными сервисами (СУС) для планирования и выполнения междисциплинарных научных исследований. Особенность междисциплинарного подхода состоит в том, что он допускает прямой перенос методов исследования из одной научной дисциплины в другую, что определяет специфические задачи анализа. Система управления научными сервисами в интересах междисциплинарных исследований должна обеспечивать научные аналитические услуги по подбору релевантного научного инструментария смежных дисциплин, коллектива компетентных исследователей, услуги по планированию и проведению этих исследований. Основным источником данных для такого рода анализа служат крупнейшие полнотекстовые, реферативные и индексные базы данных научных публикаций.

**Ключевые слова:** научный результат; информационная модель; научные сервисы; алгоритмы идентификации; интеллектуальный поиск; междисциплинарные исследования

**DOI:** 10.14357/08696527200310

## 1 Введение

Последнее десятилетие наблюдается существенное расширение областей приложения так называемого междисциплинарного подхода в исследованиях, что, по всей видимости, вызвано некоторым застоем в базовых научных дисциплинах (математика, физика, химия, биология), в которых за последнее время не видно существенных прорывов.

Особенность междисциплинарного подхода состоит в том, что он допускает прямой перенос методов исследования из одной научной дисциплины в другую. Перенос методов в этом случае обусловлен наличием сходных сформулированных проблем в исследуемых предметных областях. В результате появляются междисциплинарные подходы, например биофизика, химфизика, медицинская

---

\* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект 18-29-03091).

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, ASuchkov@ipiran.ru



биоинформатика. Однако использование «чужой» дисциплинарной методологии редко приводит к изменению дисциплинарного образа предмета исследования. Следует отметить, что для сохранения границ дисциплинарных коробок в междисциплинарных исследованиях всегда присутствуют «ведущая» и «ведомая» дисциплины. Все результаты, даже те, которые получены при помощи методологии «ведомой» дисциплины, интерпретируются с позиции дисциплинарного подхода «ведущей» дисциплины. Поэтому междисциплинарный подход предназначен прежде всего для исследования конкретных дисциплинарных проблем, в решении которых какая-либо конкретная дисциплина испытывает концептуальные и методологические трудности [1].

В настоящий момент развитие народного хозяйства все больше связывается с внедрением цифровых технологий. Российская наука обладает всеми необходимыми компонентами отрасли цифровой экономики: это наличие развитой вычислительной и телекоммуникационной инфраструктуры, системы центров коллективного пользования (ЦКП), других организационных структур, нормативной базы, высокого уровня компетенций и высококвалифицированных научных коллективов [2, 3]. При этом все перечисленные компоненты объективно продвигаются по пути «цифровизации», и наука как отрасль экономики также становится «цифровой».

Успешное продвижение цифровизации научных исследований во многом обусловлено возможностью создания эффективной системы широкодоступных *научных сервисов*. Результатом сервисной деятельности является услуга [3]. Очевидно, что научный сервис опирается как на цифровые технологии (автоматическое и автоматизированное предоставление услуг), так и на использование интеллектуальных и обслуживающих человеческих ресурсов. Для обеспечения междисциплинарных исследований система научных сервисов должна обеспечивать поддержку процессов автоматизированного подбора релевантных сервисов и осуществления различных формальных и неформальных коммуникаций исследователя и государства, научного сообщества и бизнеса.

Научным коллективом ФИЦ ИУ РАН в рамках проводимых исследований обоснованы концептуальные и системотехнические подходы к созданию СУС, которые обеспечиваются ЦКП и уникальными научными установками (УНУ) академических институтов [4]. В [5] обсуждаются состав, структура и методы анализа данных СУС.

В статье рассматриваются методы и алгоритмы анализа данных СУС для планирования и выполнения междисциплинарных научных исследований.

## 2 Основные направления анализа

Как уже упоминалось, СУС в интересах междисциплинарных исследований должна обеспечивать научные аналитические услуги по подбору релевантного научного инструментария смежных дисциплин, коллектива компетентных исследователей, услуги по планированию и проведению этих исследований. Основным

источником данных для такого рода анализа служат крупнейшие полнотекстовые, реферативные и индексные базы данных научных публикаций.

Особое место занимает постоянный мониторинг этих баз данных и анализ публикуемых массивов научных результатов, которые являются квинтэссенцией всех научных исследований и основным информационным объектом для процессов постановки научной проблемы, формулировки научных гипотез, мониторинга научно-технической информации (НТИ). Формализованное понятие «научный результат», интегрирующее всю информационную структуру научного исследования, используется при организации значительного числа аналитических научных сервисов:

- извлечения фактов и знаний (извлечение фактов, понятий, связей и формализация фактографических данных на основе лингвистического анализа слабоструктурированной информации);
- интеллектуального поиска информации;
- тематического индексирования;
- наукометрического анализа;
- анализа фронта исследований;
- определения передовых групп исследователей;
- интеллектуального анализа специализированных социальных сетей и других средств научных коммуникаций;
- проверки заимствований [5].

Особенно это актуально для междисциплинарных исследований, где обеспечиваются поиск и подбор релевантных научных положений и инструментария в смежных областях научного знания. Для обеспечения и поддержки междисциплинарных исследований эти группы научных сервисов должны опираться на формализованную информационную модель процессов научного исследования. Анализ информационной структуры научного исследования позволяет выделить ее основные информационные объекты. В их числе:

- объект исследования — материальная или мыслимая сущность, по поводу которой изучаются ее неизвестные свойства или сам факт существования;
- субъект исследования — ученый-исследователь;
- средства исследования — инструменты исследования (метод, алгоритм, модель, техническое устройство и т. п.);
- научный результат — обоснование неизвестных свойств или факта существования объекта исследования или средства исследования.

Центральным объектом такой модели служит понятие «результат научного исследования», который непосредственно взаимосвязан со всеми другими информационными объектами. Формализация понятия «результат научного исследования» приведена в [6]. Основной компонент модели, имеющий важное значение

для междисциплинарных исследований, — это классификатор типов научных результатов (в скобках дана доля определенного типа в представительном наборе научных публикаций [6]):

- научная проблема (0,4%);
- новый объект исследования (0,2%);
- новые свойства объекта исследования (28%);
- инструмент исследования (42%);
- объект исследования (26,6%);
- систематизация (2,8%).

Как видно, подобная модель позволяет осуществлять результативный междисциплинарный анализ научного инструментария, что может стать важнейшим компонентом системы управления научными сервисами.

### **3 Научные сервисы и данные мониторинга**

В современном представлении научное исследование — взаимоувязанная совокупность процессов, состав которых можно с некоторым приближением вычленивать из неформальных философских рассуждений [7]:

- формулировка научной проблемы;
- предварительный анализ доступной НТИ, мониторинг научной проблемы (факты, теории, гипотезы);
- формулировка и сравнительный анализ исходных гипотез;
- планирование научных исследований;
- организация и проведение эксперимента;
- анализ и обобщение полученных результатов;
- проверка исходных гипотез, принятие решений;
- формулирование фактов и положений, их обоснование и описание (получение продукта знаний).

Взаимосвязь и последовательность процессов научных исследований представлена на рис. 1 [6].

Систематизация процессов научного исследования позволяет сформировать ориентировочный набор основных групп научных сервисов, который может лечь в основу системы цифровизации междисциплинарных исследований [6]:

- сервисы интеллектуального поиска информации и мониторинга НТИ;
- сервисы извлечения фактов и знаний;
- аналитические сервисы;

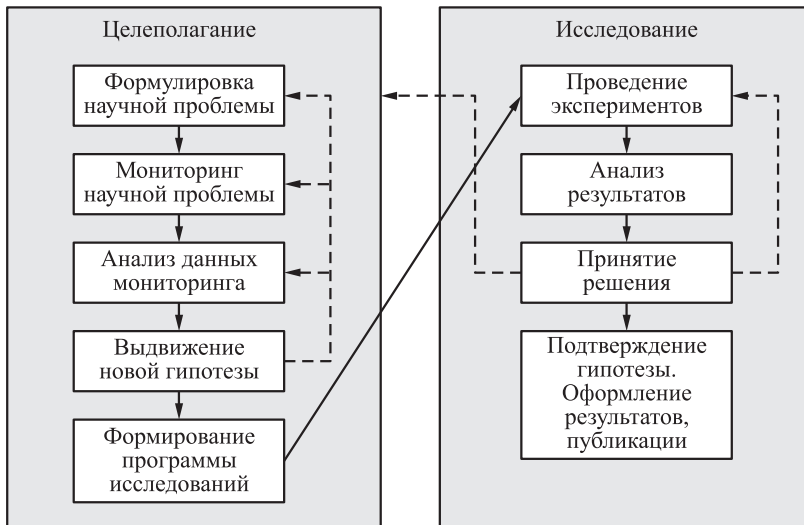


Рис. 1 Основные группы процессов и их взаимосвязь

- сервисы коммуникаций;
- сервисы планирования научного исследования;
- сервисы доступа к услугам ЦКП и УНУ;
- сервисы подготовки публикаций.

Для реализации задач анализа данных мониторинга СУС в интересах междисциплинарных исследований предлагается создать набор научных сервисов в рамках указанных групп, реализующих следующий алгоритм действий (см. рис. 2).

**Шаг 1.** Формулировка научной проблемы, мониторинг научной проблемы. Обслуживается с помощью набора следующих сервисов:

- создание онтологии научной проблемы на основе обучения на подборке релевантных публикаций;
- на основе полученной онтологии формирование запроса для интеллектуального поиска<sup>1</sup> представительного корпуса доступной НТИ (факты, теории, гипотезы);
- проверка актуальности научной проблемы на основе анализа динамики роста публикаций по данной тематике.

<sup>1</sup> **Интеллектуальный поиск** обеспечивает возможность полнотекстового поиска, задания нечеткого запроса на естественном языке и ранжирования результатов поиска в соответствии с релевантностью запросу.



**Рис. 2** Алгоритм анализа данных мониторинга

**Шаг 2.** При выявлении признаков неактуальности возврат к шагу 1 с целью корректировки научной проблемы.

**Шаг 3.** Формулировка исходных гипотез в виде научных результатов и их сравнительный анализ.

Обслуживается с помощью набора следующих сервисов:

- формальное описание предполагаемого научного результата по следующей структуре [6]:

НаучныйРезультат

nr:НаучныйРезультатОписание

nr:ОбластьЗнаний

nr:ОбъектИсследования

nr:СредствоИсследования

nr:СвойствоОбъектаИсследования

nr:ВидРезультата

nr:БиблиографическаяСсылка;

- формирование нечеткого запроса на основе данной формализации;
- проверка на непротиворечивость предполагаемого научного результата существующим результатам;
- проверка на возможную схожесть или дублирование.

**Шаг 4.** При выявлении признаков противоречивости и дублирования возврат к шагу 2 или 1 с целью корректировки гипотезы или научной проблемы.

**Шаг 5.** Планирование научных исследований.

Обслуживается с помощью набора следующих сервисов:

- интеллектуальный поиск релевантного научного инструментария (методов, приемов, технических средств и т. п.) в ведущей и смежных дисциплинах;
- подбор коллектива исполнителей под выбранный инструментарий с помощью коммуникаций в научном сообществе;
- поиск и подбор сервисов ЦКП и УНУ.

**Шаг 6.** Организация и проведение исследований (эксперименты, расчеты), анализ и обобщение полученных результатов.

Обслуживается с помощью набора научных сервисов, реализующих специальные методы анализа по отраслям науки с использованием систем, основанных на знаниях, различных методов численного моделирования, методов оптимизации, машинного обучения, искусственного интеллекта.

**Шаг 7.** Проверка исходных гипотез, принятие решений.

Цифровизация процесса проверки исходных гипотез затруднительна. После осуществления проверки гипотез на основе данных эксперимента осуществляется принятие решения из следующих альтернатив:

- в случае подтверждения гипотезы осуществляется переход к процессам формулирования фактов и положений, их обоснования и описания (получение продукта знаний — шаг 8);
- если эмпирических данных недостаточно, принимается решение о продолжении экспериментов — шаг 6;
- если гипотеза опровергнута, то необходимо возвратиться к стадии «Целеполагание»:
- для корректировки плана исследования — шаг 5;
- корректировки научной гипотезы — шаг 3;
- корректировки научной проблемы — шаг 1.

**Шаг 8.** Формулирование фактов и положений, их обоснование и описание (получение продукта знаний).

Продукт знаний обычно оформляется в виде научно-технического отчета, научной публикации либо публичного доклада на разного рода научных собраниях. Существующие технологии в этой области позволяют говорить о возможности использования следующих аналитических сервисов:

- улучшение качества статей (адаптация к требованиям оформления, рецензирование, семантический анализ текстов, услуги по написанию и продвижению публикаций);
- автоматизированный перевод;

- проверка заимствований, антиплагиат;
- анализ редакционных политик и выбор издания.

#### 4 Аналитические сервисы

При описании алгоритма анализа данных мониторинга СУС при организации и проведении междисциплинарных исследований были использованы следующие сервисы:

- создание онтологии научной проблемы на основе обучения на подборке релевантных публикаций;
- интеллектуальный поиск информации;
- анализ динамики роста публикаций по заданной тематике;
- идентификация научного результата;
- интеллектуальный поиск релевантного научного инструментария (методов, приемов, технических средств и т. п.) в ведущей и смежных дисциплинах;
- подбор коллектива исполнителей под выбранный инструментарий с помощью коммуникаций в научном сообществе;
- поиск и подбор сервисов ЦКП и УНУ;
- улучшение качества статей.

Одной из самых перспективных представляется технология интеллектуально-го поиска и анализа НТИ, включая процесс идентификации научного результата, на основе автоматизированного создания онтологии научной проблемы.

Формализация понятия «научный результат» позволяет очертить схему алгоритма процесса его идентификации. Научные сервисы, основанные на этом алгоритме, могут позволить решать следующие задачи: определение новизны полученного результата, подбор схожих результатов по различным критериям, поиск результатов исследований в смежных отраслях знаний, поиск научного инструментария на основе мониторинга доступного массива НТИ. В основе алгоритма лежит процесс извлечения структурированной информации из неструктурированного текста, определение и идентификация сущностей из текста на естественном языке и выявление связей между этими сущностями. Как правило, такие методы анализа опираются на формализованные в том или ином виде знания о предметной области (онтологии) и специализированные методы обработки информации, реализованные в виде наукоемкого программного обеспечения.

Ранее в поисковых системах использовалась индексация ресурсов (введение в текст гиперссылок, поиск по ключевым словам) при полном отсутствии средств анализа хранимой информации. Онтологический подход позволяет учитывать семантику запросов. В онтологических средах начальная обработка запроса на языке, близком к естественному, предполагает его переформулировку и использование методов компьютерной лингвистики при представлении [8].

Очень обнадеживающе выглядит возможность автоматического формирования «скелета» онтологии постоянного запроса с использованием обучения на подборке релевантных публикаций, т. е. в виде сервиса. Это может осуществляться с учетом частоты встречаемости терминов, что используется в статистическом подходе, где значимость термина для онтологии определяется этой частотой встречаемости термина в исследуемом корпусе текстов (информационном контенте или обучающей выборке). Подход, основанный на исследовании контекстной близости терминов с автоматическим распознаванием и извлечением образцов словосочетаний, содержащих исследуемые термины, позволяет выявить отношения между понятиями. Для этой цели используется автоматическая процедура, сочетающая лингвистический и статистический подходы [8].

Другой важной группой используемых технологий, достаточно развитых в настоящее время, стали технологии наукометрии. Примерами таких технологий служат:

- наукометрический аппарат базы данных Scopus, который обеспечивает учет публикаций ученых и учреждений, в которых они работают, статистику их цитируемости;
- наукометрический аппарат платформы Web of Science, который обеспечивает отслеживание показателей цитируемости публикаций с ретроспективой до 1900 г. Одним из ключевых концептов наукометрического аппарата платформы служит импакт-фактор научного издания. Для формальной оценки результативности научной деятельности ученых применяется ряд наукометрических показателей (например, число публикаций, индекс Хирша, он же h-индекс, и др.);
- eLibrary.ru, которая также стала мощным аналитическим инструментом, позволяющим осуществлять оценку результативности и эффективности деятельности научно-исследовательских организаций, ученых, уровень научных журналов и т. д.

Технологии наукометрии являются мощным средством организации и проведения междисциплинарных исследований.

## Литература

1. Трансдисциплинарность в современной науке. <https://www.psychologos.ru/articles/view/transdisciplinarnost-v-sovremennoy-nauke>.
2. Зацаринный А. А., Киселев Э. В., Козлов С. В., Колин К. К. Информационное пространство цифровой экономики России. Концептуальные основы и проблемы формирования. — М.: ФИЦ ИУ РАН, 2018. 236 с.
3. Зацаринный А. А., Кондрашев В. А., Сучков А. П. Система научных сервисов как актуальный компонент научных исследований // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 1. С. 23–38.



4. Зацаринный А. А., Волович К. И., Кондрашев В. А. Методологические вопросы управления научными сервисами научных и образовательных организаций Российской Федерации // Радиолокация, навигация, связь: Сб. тр. XXIII Междунар. научн.-технич. конф. — Воронеж: Вэлборн, 2017. Т. 1. С. 7–14.
5. Сучков А. П. Состав, структура и методы анализа данных системы управления научными сервисами // Системы и средства информатики, 2020. Т. 30. № 2. С. 163–176.
6. Сучков А. П. Научный результат как информационный объект в контексте системы управления научными сервисами // Информатика и её применения, 2019. Т. 13. Вып. 10. С. 137–144.
7. Ушаков Е. В. Введение в философию и методологию науки. — М.: Экзамен, 2005. 528 с.
8. Кузнецов О. П., Суховеров В. С., Шитилина Л. Б. Онтология как систематизация научных знаний: структура, семантика, задачи // Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения: Тр. конф. С. 762–773. [http://www.interface.ru/iarticle/files/33247\\_76217705.pdf](http://www.interface.ru/iarticle/files/33247_76217705.pdf).

*Поступила в редакцию 23.03.20*

---

---

## ALGORITHMS FOR AN ANALYTICAL DATA PROCESSING SYSTEM OF MANAGEMENT OF SCIENTIFIC SERVICES FOR PLANNING AND EXECUTION OF INTERDISCIPLINARY RESEARCH

*A. P. Suchkov*

Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation

**Abstract:** The article discusses methods and algorithms for data analysis of the scientific services management system for planning and performing interdisciplinary research. The peculiarity of the interdisciplinary approach is that it allows direct transfer of research methods from one scientific discipline to another, which determines the specific tasks of analysis. The system of scientific services management in the interests of interdisciplinary research should provide scientific analytical services for selection of relevant scientific tools of related disciplines, a team of competent researchers, and services for planning and conducting these studies. The main source of data for this type of analysis is the largest full-text, abstract and index databases of scientific publications.

**Keywords:** scientific result; information model; scientific services; identification algorithms; intellectual search; interdisciplinary research

**DOI:** 10.14357/08696527200310

## Acknowledgments

The reported study was partially funded by RFBR, project No. 18-29-03091.

## References

1. Transdistsiplinarnost' v sovremennoy nauke [Transdisciplinarity in modern science]. Available at: <https://www.psychologos.ru/articles/view/transdistsiplinarnost-v-sovremennoy-nauke> (accessed August 21, 2020).
2. Zatsarinny, A. A., E. V. Kiselev, S. V. Kozlov, and K. K. Kolin. 2018. *Informatsionnoe prostranstvo tsifrovoy ekonomiki Rossii. Kontseptual'nye osnovy i problemy formirovaniya* [Information space of the digital economy of Russia. Conceptual framework and problems of formation]. Moscow: FRC CSC RAS. 236 p.
3. Zatsarinny, A. A., V. A. Kondrashev, and A. P. Suchkov. 2017. Sistema nauchnykh servisov kak aktual'nyy komponent nauchnykh issledovaniy [The system of scientific services as an actual component of scientific research]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(1):23–38.
4. Zatsarinny, A. A., K. I. Volovich, and V. A. Kondrashev. 2017. Metodologicheskie voprosy upravleniya nauchnymi servisami nauchnykh i obrazovatel'nykh organizatsiy Rossiyskoy Federatsii [Methodological issues of scientific services management of scientific and educational organizations of the Russian Federation]. *Radiolokatsiya, navigatsiya, soyaz': Sb. tr. XXIII Mezhdunar. nauchn.- tekhnich. konf.* [Radarlocation, Navigation, Communication: 23th Scientific and Technical Conference (International) Proceedings]. Voronezh: Velborn. 1:7–14.
5. Suchkov, A. P. 2020. Sostav, struktura i metody analiza dannykh sistemy upravleniya nauchnymi servisami [Content, structure, and data analysis methods of scientific services management system]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 30(2):163–176.
6. Suchkov, A. P. 2019. Nauchnyy rezul'tat kak informatsionnyy ob'ekt v kontekste sistemy upravleniya nauchnymi servisami [Scientific result as an information object in the context of scientific services management system]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 10(13):137–144.
7. Ushakov, E. V. 2005. *Vvedenie v filosofiyu i metodologiyu nauki* [Introduction to philosophy and methodology of science]. Moscow: Ekzamen. 528 p.
8. Kuznetsov, O. P., V. S. Sukhoverov, and L. B. Shipilina. 2010. Ontologiya kak sistematzatsiya nauchnykh znaniy: struktura, semantika, zadachi [Ontology as a systematization of scientific knowledge: Structure, semantics, tasks]. *Tekhnicheskie i programmnye sredstva sistem upravleniya, kontrolya i izmereniya: Tr. konf.* [Hardware and Software Tools for Control, Monitoring, and Measurement Systems Conference Proceedings]. Available at: [http://www.interface.ru/iarticle/files/33247\\_76217705.pdf](http://www.interface.ru/iarticle/files/33247_76217705.pdf) (accessed August 21, 2020).

Received March 23, 2020

## Contributor

**Suchkov Alexander P.** (b. 1954) — Doctor of Science in technology, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; ASuchkov@frcsc.ru

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ КОРОНАВИРУСА\*

*В. Е. Гаврилов<sup>1</sup>, А. А. Зацаринный<sup>2</sup>*

**Аннотация:** Статья посвящена вопросам информационной безопасности при использовании информационных технологий в ходе проведения мероприятий по борьбе с распространением пандемии коронавируса в России. При этом проблема информационной безопасности рассматривается в широком смысле слова и включает технический, функциональный и системный аспекты. Проанализированы основные области применения информационных технологий, созданных непосредственно для обеспечения установленного режима повышенной готовности либо испытывающих повышенную нагрузку в изменившихся условиях пандемии.

**Ключевые слова:** пандемия; информационные технологии; информационная безопасность; техническая безопасность; функциональная безопасность; системная безопасность

**DOI:** 10.14357/08696527200311

### 1 Введение

Коронавирус — новый и довольно неожиданный глобальный вызов всему человечеству. Весь мир уже несколько месяцев находится в напряженном состоянии, пытаясь сдержать распространение этого вируса. Очевидно, что важное место в системе мероприятий занимают информационные системы и технологии. Как показал анализ, используемые в этих целях в той или иной мере информационные системы условно можно разделить на несколько групп: контроля выполнения установленного режима повышенной готовности (карантина), медицинского назначения, информирования населения, обеспечения повседневной жизнедеятельности населения, поддержки удаленной работы и учебы, а также культурно-массового и досугового назначения.

В статье рассматриваются некоторые актуальные проблемы обеспечения информационной безопасности указанных систем. При этом термин «информационная безопасность» понимается в широком смысле слова как способность

---

\*Статья подготовлена при частичной поддержке РФФИ (проекты 18-29-03124-мк и 18-29-03081-мк).

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, vegavrilov@yandex.ru

<sup>2</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, AZatsarinny@ipiran.ru

информационной системы устойчиво выполнять заявленные функции в реальных условиях эксплуатации с учетом возможных сбоев, уязвимостей, а также негативных действий потенциальных нарушителей и компьютерных атак.

Проблема информационной безопасности рассматривается в трех аспектах: функциональном, системном и техническом. Функциональный аспект охватывает комплекс вопросов обеспечения корректной реализации заявленных функций информационной системы во всех режимах работы и при всех сочетаниях входных данных. Системный аспект предполагает обеспечение полной и корректной постановки функциональных задач информационной системы, а также реализацию непротиворечивого сценария их исполнения без негативных последствий. И, наконец, технический аспект информационной безопасности связан с выбором таких аппаратно-программных средств защиты, которые обеспечивают устойчивое функционирование информационной системы в условиях возможных сбоев, вредоносных действий потенциальных нарушителей, компьютерных атак.

В статье рассматриваются проблемы информационной безопасности для каждой из перечисленных выше групп информационных систем в этих трех аспектах.

## **2 Системы контроля выполнения установленного режима повышенной готовности**

К таким системам относятся системы контроля соблюдения режима карантина для лиц, находящихся на домашнем лечении, контактировавших с больными COVID-19, прибывших из потенциально опасных регионов и др., а также системы контроля установленного пропускного режима при перемещении на общественном и личном транспорте.

Эти системы оказывают самое непосредственное влияние на темпы распространения эпидемии, но при этом вызывают и наибольшие нарекания. Основная причина в том, что эти системы создавались в условиях жесткого дефицита времени на основе уже имеющихся систем несколько иного назначения. Именно этим можно объяснить многочисленные ошибки и недоработки как системного, так и технического характера. С учетом их назначения эти информационные системы подпадают под действие ФЗ-187 «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» [1], а с учетом обработки персональных данных и ФЗ-152 «О персональных данных» [2]. Однако информация о выполнении требований соответствующих нормативных документов в применяемых информационных системах отсутствует.

В качестве технологической основы для информационной системы контроля соблюдения режима карантина была взята городская система видеонаблюдения и распознавания лиц, находящихся в розыске. При этом в своем первоначальном назначении система не нуждалась в особых мерах защиты, так как согласно ФЗ-152 согласия объявленных в розыск субъектов персональных данных, размещаемых в базе данных с целью обеспечения безопасности, не требуется,

фотографии разыскиваемых лиц размещены на стендах каждого отдела полиции. Однако применение этой системы для контроля соблюдения карантина гражданами РФ кардинально меняет ситуацию со статусом системы. Так, требуется согласие субъекта персональных данных на их обработку, которое в настоящее время, хотя и не вполне добровольно, дает каждый потенциальный носитель вируса. При этом персональные данные относятся к первой категории и требуют наиболее надежной защиты. Вместе с тем к настоящему времени информация о проведении работ по защите системы «Социальный мониторинг» отсутствует. Известно, что Федеральная служба безопасности (ФСБ) России направила соответствующее обращение в Министерство цифрового развития [3].

Используемая в системе технология распознавания образов с применением методов искусственного интеллекта недостаточно надежна, имеются немало способов обмана системы распознавания лиц. По данным представителя Ростелекома, приведенным в докладе на биометрическом форуме 2020 г. [4], лишь 7% лиц, выявленных в период проведения Чемпионата мира по футболу камерами наблюдения как разыскиваемые, действительно были внесены в базу данных.

По данным многочисленных средств массовой информации, персональные данные передаются по каналам связи в открытом виде и обрабатываются на зарубежных серверах. Зафиксирована массовая утечка личных данных оштрафованных [5].

Приведенные выше факты свидетельствуют о недостаточном внимании к технической составляющей информационной безопасности. Целый ряд ошибок и недоработок функционального и системного характера вызвали излишнюю социальную напряженность в обществе. Так, система начала работу 02.04.20, а статья на сайте мэрии Москвы с разъяснениями порядка использования соответствующего приложения появилась только 21.05.20. В результате почти 80% граждан, установивших приложение (около 54 000 из 67 000 [6]), получили штрафы в автоматическом режиме, процедура оспаривания которых весьма затруднительна и трудоемка, а для многих попросту недоступна. Многочисленные жалобы на плохую работу оповещения о поступившем запросе на отправку селфи, ночные оповещения, большие задержки с исключением из базы данных по окончании карантина, высокое энергопотребление приложения — вот далеко не полный перечень претензий к данному приложению. При этом техническая поддержка крайне слабая, а зачастую и недоступная. Негативные последствия могли бы быть значительно меньше даже при наличии многочисленных недоработок, если бы разработчики заложили алгоритм принятия решения на основе принципа: «все сомнения трактуются в пользу “подозреваемого”». Вряд ли суммы собранных штрафов могут компенсировать социальную напряженность и негативное отношение населения.

Система контроля пропускного режима при передвижении на автомобильном транспорте построена на базе существующей информационной системы Центра организации дорожного движения, предназначенной для контроля соблюдения правил дорожного движения. При этом, как и ранее, изменившиеся условия при-

менения системы порождают новые угрозы информационной безопасности. Так, в системе появляются номера автомобилей и персональные данные сотрудников силового блока, что требует совершенно иного уровня защиты информации.

Имеется целый ряд проблем функциональной и системной безопасности. При контроле соблюдения правил дорожного движения каждая из камер видеонаблюдения фиксирует отдельное нарушение, при их использовании для контроля пропускного режима появляется проблема противозаконного многократного наказания нарушителя за одно и то же нарушение. Вызывает недоумение большой временной зазор между оформлением цифрового пропуска и его отображением в базе данных (более 5 ч) и в целом ненадежная реализация этого этапа. При этом техническая поддержка крайне недостаточна как по объему, так и по уровню подготовки.

Дополняет картину непродуманность сценариев получения цифровых пропусков. Жесткая логика и форматы вводимых даже не критичных данных вызывают иногда непреодолимые затруднения. Например, в пункте следования нет наименований улиц, что не допускает поддерживаемый формат. Гражданин, не зарегистрированный на сайте госуслуг до начала пандемии, фактически лишен возможности использовать этот сервис, так как многофункциональные центры предоставления государственных и муниципальных услуг (МФЦ) не работают. То же относится и к цифровым пропускам для проезда на общественном транспорте. При отсутствии карты «Тройка» пропуск не может быть оформлен, а купить ее можно в кассах метрополитена, который не всегда находится в пешей доступности.

Невозможно оформить рабочий пропуск на несколько номеров автомобилей или на автомобиль и общественный транспорт, что ограничивает возможности работы водителей служебного транспорта. Оформление пропусков только на текущий день создает дополнительные трудности для граждан и увеличивает нагрузку на и без того перегруженный сайт госуслуг.

### **3 Информационные системы медицинского назначения**

В большинстве своем информационные системы медицинского назначения, по-видимому, не претерпели изменений и используются в том же качестве, что и до начала пандемии. Отметим только увеличившуюся нагрузку на системы онлайн-медицины в связи с перепрофилированием ряда медицинских учреждений. С учетом резко возросшей нагрузки на телекоммуникационные сети это повышает вероятность отказа в обслуживании, последствия которого могут быть в данном случае опасны. Службам технической поддержки этих систем целесообразно озаботиться наличием резервных каналов связи, а организаторам — разработкой сценария действий в критической ситуации при потере связи.

Следует выделить системы управления медицинским оборудованием, системы диагностики (в том числе с применением технологии искусственного интеллекта), исследовательские системы для разработки противовирусной вакцины,

системы онлайн-медицины (контроль параметров имплантированных пациентам приборов, удаленное консультирование и т. п.), системы сбора медицинских статистических данных

Отдельного внимания заслуживают информационные системы медицинской диагностики на основе технологии искусственного интеллекта. Подобные системы уже положительно зарекомендовали себя в диагностике ряда заболеваний и показывают значительно более точные результаты, чем даже консилиум врачей-специалистов. Однако для успешной работы подобных систем требуется большой объем качественной обучающей информации. При этом общее число пациентов с выявленным заболеванием, к счастью, статистически не слишком велико, симптомы заболевания весьма разнообразны, нет единых рекомендаций Всемирной организации здравоохранения, позволяющих объективно сравнивать усилия медиков в разных странах, а точность тестирования невелика. Все это накладывает отпечаток на сроки разработки и точность выводов диагностических систем по выявлению заболевших коронавирусом.

Для информационной системы сбора медицинских статистических данных наиболее актуальной представляется проблема системного характера, связанная с разнородностью и неопределенностью критериев классификации событий не только в разных странах, но зачастую и в разных регионах России. В результате при интеграции несопоставимых данных образуются неустраняемые противоречия, приводящие к негативным политическим последствиям.

#### **4 Системы поддержки удаленной работы и учебы**

Об удаленной работе и учебных процессах в режиме онлайн («дистанционное обучение») в условиях пандемии много говорят в последнее время. При этом, не затрагивая правовые и юридические аспекты этого вопроса (а их немало), отметим, что новые форматы работы требуют соответствующей информационной, технической и телекоммуникационной поддержки удаленной работы. Речь идет о технических регламентах информационного взаимодействия с офисом, информационного взаимодействия сотрудников между собой, проведения технических совещаний в режиме онлайн, обеспечения оперативного оповещения и информирования сотрудников, технической и технологической оснащенности домашних рабочих мест сотрудников и многого другого.

Конечно, сегодня для большинства из этих задач появилось множество корпоративных мессенджеров, сервисов аудио- и видеосвязи, благодаря которым рабочий процесс из дома мало отличается от офисного. Однако в условиях пандемии предстоит массовый переход на удаленную работу, а это требует строгой регламентации такого режима и условий его применения на государственном уровне, введения положения о дистанционной работе и корректировки трудового договора между сотрудником и работодателем.

Вместе с тем применение информационных систем поддержки удаленной работы и учебы выявило некоторые угрозы безопасности в этой сфере.

Так, при переводе на удаленную работу сотрудников, пользующихся автоматизированными системами в защищенном исполнении, необходимы существенные коррективы в имеющуюся систему защиты информации. Это связано с ограниченными возможностями по реализации организационно-технических (компенсирующих) мер защиты при работе из дома, с использованием собственных незащищенных технических средств и открытых каналов связи. Федеральная служба по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК) России выпустила рекомендации по обеспечению безопасности при переводе на удаленную работу сотрудников объектов критической информационной инфраструктуры [7, 8]. Эти рекомендации позволяют отчасти компенсировать новые угрозы безопасности при удаленной работе, однако в условиях дефицита времени оценить их эффективность и достаточность не представляется возможным.

Существенное влияние на формы и содержание образования оказывает переход на удаленный формат. Используемые при этом информационные технологии применялись и ранее в сфере дополнительного образования, где вопросы контроля знаний обучающегося не столь критичны. Основная проблема технического характера связана с недостаточной надежностью технических средств и каналов связи. Кроме того, зачастую обучающиеся используют устаревшие гаджеты, которые не поддерживают современные информационные технологии.

Системной стала проблема проверки качества знаний в ее традиционных формах при удаленном формате образования. Во многих вузах с этой целью используются системы прокторинга (например, «Экзамус»), которые отслеживают поведение студента в ходе экзамена и, в случае его отклонения от установленного порядка, расценивают это как попытку списывания. При этом установленный жесткий сценарий физически трудно выполним, а процедура оспаривания выводов системы усложнена. Все это вынуждает преподавательский состав переходить на ручной режим управления. В целом, создавшаяся ситуация ставит вопрос о пересмотре парадигмы образования в случае сохранения его удаленной формы.

## **5 Системы информирования населения, обеспечения его повседневной жизнедеятельности и культурно-массового назначения**

Основная проблема информационной безопасности в **системе информирования населения** связана с так называемой фейковой информацией (непроверенных и ложных новостей и слухов), распространяемой под видом достоверных сообщений и создающей угрозу для безопасности [9]. При этом особенно актуальны две проблемы: выявление факта размещения недостоверной (фейковой) информации и розыск ее первоисточника. Технологии решения второй задачи достаточно отработаны, чего нельзя сказать о первой. В настоящее время многие научные организации и крупнейшие интернет-компании Google и Яндекс проводят исследования по выявлению ложной информации с использованием техноло-



гии искусственного интеллекта [10], однако существенных достижений пока не наблюдается.

Увеличенную нагрузку в условиях режима повышенной готовности испытывают **системы информирования населения**. В наибольшей степени это затрагивает такие сферы, как онлайн-банкинг, оказание государственных услуг, интернет-торговля, системы курьерской доставки и т. д. Помимо высокой востребованности этих сервисов в связи с закрытием на период карантина МФЦ, отделений банков, торговых центров и т. п. увеличивается также риск финансового мошенничества. Многочисленные сайты-однодневки собирают деньги с обманутых покупателей, сайты-двойники получают личные данные граждан, включая данные их банковских карт. Отмечаются случаи попыток незаконного получения мер социальной поддержки. С мошеннических сайтов предлагаются платные услуги по трудоустройству, возврату налогов и т. п. Во всех этих случаях, как правило, используются методы социальной инженерии, защита от которых не предусматривается действующими нормативными документами.

Отметим, кроме того, и системные ошибки в этих сферах. Недостаточная информация о сроках и формах выплат пособий на несовершеннолетних детей спровоцировала очередной обвал сервиса госуслуг по типу DDoS (Distributed Denial of Service) атаки. Тотальное закрытие почтовых отделений и отделений банков сделали невозможным получение пенсий гражданами, не имеющими банковских карт. В связи с этим отметим, что чрезмерное «увлечение» компьютерными технологиями и обязательное их «навязывание» сильно ограничивают права многих граждан, слабо владеющих информационными технологиями и не имеющих функциональных устройств типа «смартфон».

Нельзя не отметить еще один сегмент информационных систем, который в период карантина и самоизоляции испытывает повышенную нагрузку. Речь идет о **системах культурно-массового и досугового назначения**, которые с учетом используемого ими объемного контента создают перегрузку сетей. Так, операторы связи вынуждены были обратиться к пользователям с просьбой снизить в настройках своих гаджетов уровень четкости изображений. Применительно к таким системам актуальной проблемой стало массовое нарушение авторских прав на контент в условиях повышенного спроса.

## 6 Заключение

Информационные системы и технологии объективно занимают важное место в комплексе мероприятий по борьбе с коронавирусом. Период повышенной готовности оказался своеобразным стресс-тестом для большинства информационных и телекоммуникационных систем. Особую актуальность приобретают проблемы обеспечения информационной безопасности в рамках функционального, системного и технического аспектов. Наиболее острые проблемы по обеспечению информационной безопасности и защиты персональных данных выявлены при использовании систем контроля выполнения установленного режима повышенной

готовности (карантина), обеспечения повседневной жизнедеятельности населения и поддержки удаленной работы и учебы.

Накопленный опыт применения информационных систем требует детального анализа, обобщения и систематизации для учета при постановке работ по развитию информационных систем, прежде всего при реализации крупномасштабных мероприятий в рамках национального проекта «Цифровая экономика» в части обеспечения системной безопасности.

Для такого системного анализа целесообразно привлечение научных организаций, обладающих компетенциями и опытом создания и развития информационных систем в защищенном исполнении в соответствии с нормативными требованиями ФСТЭК и ФСБ России.

## Литература

1. О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации: Федеральный закон от 26.07.2017 г. № 187-ФЗ.
2. О персональных данных: Федеральный закон от 27.07.2006 г. № 152-ФЗ.
3. ФСБ подключается к социальному мониторингу // Коммерсантъ, 19.05.20. № 86. С. 1. <https://www.kommersant.ru/doc/4348566?from=main1>.
4. SecuFinance. Защитные технологии банка будущего: биометрическая идентификация, кибербезопасность и цифровая экономика. Тр. конф. <https://www.secuteck.ru/news/konferenciya-secufinance-zashchitnye-tehnologii-banka-budushchego-biometricheskaya-identifikaciya-kiberbezopasnost-i-cifrovaya-ekonomika>.
5. Нарушителей самовыложили в сеть // Коммерсантъ, 18.05.20. № 85/П. С. 7. <https://www.kommersant.ru/doc/4347750>.
6. *Латынина Ю.* Презумпция гражданской невиновности: Почему «Социальный мониторинг» никуда не годится // Новая газета, 28.05.20.
7. *Смирнов В.* Возможно, вы искали правду: Google ввел глобальную систему проверки новостей // RT на русском, 09.04.17. <https://russian.rt.com/world/article/377045-google-sistema-proverka-fakty>.
8. Рекомендации по обеспечению безопасности объектов критической информационной инфраструктуры при реализации дистанционного режима исполнения должностных обязанностей работниками субъектов критической информационной инфраструктуры: Письмо ФСТЭК России от 20 марта 2020 г. № 240/84/389. 3 с.
9. Что такое фейковые новости и как за них будут наказывать // Государственная Дума/Новости, 07.03.2019. <http://duma.gov.ru/news/29982>.
10. Мягкая киберугроза: как технологии борются с фейками в сети // Рамблер/Новости, 07.02.2020. <https://news.rambler.ru/other/43640749-myagkaya-kiberugroza-kak-tehnologii-boryutsya-s-feykami-v-seti>.

*Поступила в редакцию 01.06.20*

## ACTUAL INFORMATION SECURITY PROBLEMS IN CORONAVIRUS PANDEMIC CONDITIONS

*V. E. Gavrilov and A. A. Zatsarinny*

Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation

**Abstract:** The article is dedicated to information security problems of information technology using arising in actions execution directed to coronavirus pandemic control in Russia. Information security is considered in general meaning and includes technical, functional, and systemic levels. The authors analyze main areas of information technologies application that are created for high readiness situation or sensing high load in pandemic conditions.

**Keywords:** pandemic; information technologies; information security; technical security; functional security; system security

**DOI:** 10.14357/08696527200311

### Acknowledgments

The paper was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects No. 18-29-03124-mk and No. 18-29-03081-mk).

### References

1. O bezopasnosti kriticheskoy infrastruktury Rossiyskoy Federatsii: Federal'nyy zakon 187-FZ [On the security of the critical information infrastructure of the Russian Federation: Federal law No. 187-FZ]. July 26, 2017.
2. O personal'nykh dannykh: Federal'nyy zakon 152-FZ [About personal data: Federal law 152-FZ]. July 27, 2006.
3. FSB podklyuchaetsya k sotsial'nomu monitoringu [FSS connects to social monitoring]. 19.05.20. Kommersant” 86:1. Available at: [https://www.kommersant.ru/doc/4348566?from=main\\_1](https://www.kommersant.ru/doc/4348566?from=main_1) (accessed June 1, 2020).
4. SecuFinance. Zashchitnye tekhnologii banka budushchego: Biometricheskaya identifikatsiya, kiberbezopasnost' i tsifrovaya ekonomika. Tr. konf. [SecuFinance. Secure technologies of future banking: Biometric identity, cybersecurity and digital economy Conference Proceedings]. Available at: <https://www.secuteck.ru/news/konferenciya-secufinance-zashchitnye-tekhnologii-banka-budushchego-biometricheskaya-identifikaciya-kiberbezopasnost-i-cifrovaya-ekonomika> (accessed June 1, 2020).
5. Narushiteley samovylozhili v set' [Violators are self-posted in network]. 18.05.20. Kommersant” 85/P:7. Available at <https://www.kommersant.ru/doc/4347750> (accessed June 1, 2020).

6. Latynina, Yu. May 28, 2020. Prezumptsiya grazhdanskoj nevinovnosti: Pochemu “Sotsial’nyy monitoring” nikuda ne goditsya [The civil innocence presumption: Why “Social Monitoring” is worthless]. Novaya Gazeta. Available at: <https://novayagazeta.ru/articles/2020/05/28/85577-prezumpsiya-izolyatsii> (accessed June 1, 2020).
7. Smirnov, V. 2020. Vozmozhno, vy iskali pravdu: Google vvel global’nyu sistemu proverki novostey [Probably, you were looking for the truth: Google introduces a global news check system]. 09.04.17. RT. Available at: <https://russian.rt.com/world/article/377045-google-sistema-proverka-fakty> (accessed June 1, 2020).
8. FSTEC of Russia. March 20, 2020. Rekomendatsii po obespecheniyu bezopasnosti ob”ektov kriticheskoy informatsionnoy infrastruktury pri realizatsii distantsionnogo rezhima ispolneniya dolzhnostnykh obyazannostey rabotnikami sub”ektov kriticheskoy informatsionnoy infrastruktury: Pismo 240/84/389 [The recommendation to critical information infrastructure information security provision during implementation of remote execution mode of subjects of critical information infrastructure employees duties. Letter No. 240/84/389 issued at March 20, 2020]. 3 p. Available at: <https://fstec.ru/component/attachments/download/2713> (accessed June 1, 2020).
9. Chto takoe feykove novosti i kak za nikh budut nakazyvat’ [What is fake news and how will they punish them]. 07.03.2019. Gosudarstvennaya Duma/Novosti [State Duma/News]. Available at: <http://duma.gov.ru/news/29982/> (accessed June 1, 2020).
10. Myagkaya kiberugroza: kak tekhnologii boryutsya s feykami v seti [Soft cyberthreat: How do technologies resist fakes in network]. 07.02.2020. Rambler/News. Available at: <https://news.rambler.ru/other/43640749-myagkaya-kiberugroza-kak-tekhnologii-boryutsya-s-feykami-v-seti/> (accessed June 1, 2020).

*Received June 1, 2020*

## Contributors

**Gavrilov Victor E.** (b. 1950) — senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation, Moscow 119333, Russian Federation; [vegavrilov@yandex.ru](mailto:vegavrilov@yandex.ru)

**Zatsarinny Alexander A.** (b. 1951) — Doctor of Science in technology, professor, Deputy Director, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences (FRC CSC RAS); principal scientist, Institute of Informatics Problems, FRC CSC RAS; 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; [AZatsarinny@ipiran.ru](mailto:AZatsarinny@ipiran.ru)

## РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЯЧЕЕК РАСЧЕТНЫХ СЕТОК В НЕСКОЛЬКИХ НАПРАВЛЕНИЯХ И ЕГО ИНТЕГРАЦИЯ В GUI ДЛЯ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ OpenFOAM

*Д. И. Читалов*<sup>1</sup>

**Аннотация:** Статья посвящена разработке программного модуля, расширяющего исходный код графической оболочки `gCF_GUI`, созданной автором, и позволяющего автоматизировать один из этапов численного эксперимента для задач механики сплошных сред (МСС) — измельчение ячеек расчетных сеток (РС) в нескольких направлениях. Этот этап выполняется в рамках препроцессинга численного эксперимента и определяет точность результата (итоговой численной модели). Сформулирована цель исследования и совокупность задач для ее достижения. Определен стек технологий, необходимых для разработки модуля, представлена его структурная схема и диаграмма, описывающая логику использования. Реализованный модуль интегрирован в текущую версию графической оболочки `gCF_GUI`, которая размещена в открытом доступе на сервисе `GitHub`. Возможности модуля протестированы в рамках работы с учебной задачей МСС в области аэродинамики, входящей в дистрибутив программной среды (ПС) `OpenFOAM`. Подведены итоги исследования, выявлена его новизна и практическая значимость.

**Ключевые слова:** численное моделирование; механика сплошных сред; утилита `refineMesh`; `OpenFOAM`; открытое программное обеспечение; графический интерфейс пользователя; язык программирования `Python`; библиотека `PyQt`

**DOI:** 10.14357/08696527200312

### 1 Введение

Настоящая статья является продолжением исследования, первые результаты которого описаны в работах [1–4]. Текущий материал посвящен проблеме эффективного выполнения этапа препроцессинга при проведении численного моделирования задач МСС как одного из наиболее трудоемких и затратных по времени этапов в рамках численного эксперимента [5, 6].

Данный этап важен тем, что позволяет максимально учесть особенности задачи МСС и определяет точность создаваемой численной модели. В ходе проведения препроцессинга инженер может создавать РС различной сложности, используя встроенные в ПС `OpenFOAM` [7] инструменты — утилиты `BlockMesh`,

---

<sup>1</sup>Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук, `cdi9@yandex.ru`

SnappyHexMesh и FoamyQuadMesh. Возможность их применения в привязке к графическому интерфейсу пользователя (GUI) уже реализована авторами [2–4]. В графическую оболочку rCF\_GUI, разработка которой описана в статье [1], интегрированы соответствующие программные модули.

В процессе проведения расчетов возможностей данных утилит зачастую оказывается недостаточно, прежде всего когда речь идет о сложных вычислениях. Специалисту, например, может понадобиться увеличить число ячеек РС вдоль координатных осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  после определения их исходного набора.

Для измельчения ячеек РС в нескольких направлениях в ПС OpenFOAM применяется утилита refineMesh. Она предполагает разделение каждой ячейки на 8 или на 4 части (для трех- и двухмерных РС соответственно). При этом специалисту необходимо при традиционном подходе к использованию ПС OpenFOAM вручную создать и заполнить необходимыми параметрами служебный файл fineMeshDict поддиректории system директории расчетного случая, соответствующего задаче МСС.

Использование утилиты refineMesh дополняет работу с привычными сеточными утилитами-построителями, например blockMesh. Утилита refineMesh заменяет грубое разбиение РС на более точное, благодаря выделению подобластей и разделению их по заданным масштабам в соответствии с выбранными направлениями. К недостаткам такого подхода можно отнести увеличение расчетного времени в процессе численного эксперимента.

Поскольку ПС OpenFOAM относится к консольным программным приложениям, все этапы численного моделирования, включая создание служебных файлов для утилит, заполнение их параметрами и запуск утилит специалист вынужден осуществлять вручную, что приводит к потерям рабочего времени. Исправить ситуацию могла бы графическая оболочка, предусматривающая наличие экранных форм и элементов управления, упрощающих взаимодействие пользователя с ПС OpenFOAM, а также наличие программного алгоритма, автоматизирующего выполнение задач по созданию служебных файлов, их заполнению и запуску утилит.

## 2 Актуальность проблемы

Анализ проблемы показал, что возможность работы с утилитой refineMesh реализована во многих известных графических оболочках, используемых для постановки численных экспериментов на базе ПС OpenFOAM. Среди данных программных решений наибольшим интересом со стороны инженеров пользуются продукты: Salome [8], HelyxOS [9] и Visual-CFD [10]. Несмотря на большое число пользователей указанных программных решений, их применение связано с определенными трудностями, прежде всего с необходимостью оплаты консультационных услуг и отсутствием документации для русскоязычных специалистов. В табл. 1 приведена сравнительная характеристика представленных продуктов.

**Таблица 1** Графические оболочки для ПК OpenFOAM

Название	Лицензия	Консультационные услуги	Русскоязычная документация
Salome	ПО с открытым кодом	Не предусмотрены	Отсутствует
Helyx-OS	ПО с открытым кодом	Предусмотрены, на платной основе	Отсутствует
Visual-CFD	Бесплатная версия на 30 дней	Предусмотрены, на платной основе	Отсутствует

Информация, представленная в табл. 1, подтверждает актуальность проблемы отсутствия GUI для ПК OpenFOAM, в том числе в части отсутствия графических средств для работы с утилитой refineMesh. Наибольшая сложность применения отечественными специалистами перечисленных в табл. 1 продуктов заключается в том, что услуги по поддержке доступны только на коммерческой основе на английском языке. При этом документация также представлена в англоязычной версии, что затрудняет освоение. Эффективной альтернативой может стать создание русифицированной, свободно распространяемой, графической оболочки, к которой бы прилагалась подробная русскоязычная документация и отсутствовала бы необходимость оплаты консультационных услуг.

### 3 Постановка целей и задач

Описываемое в настоящей статье исследование посвящено разработке программного модуля для графической оболочки rCF\_GUI, применяемого для измельчения ячеек РС в нескольких направлениях на этапе препроцессинга моделирования задачи МСС на базе ПК OpenFOAM. Реализуемый модуль должен быть интегрирован в текущую версию графической оболочки rCF\_GUI и предусматривать графические средства указания параметров служебного файла fineMeshDict, а также алгоритмы его программного заполнения и запуска утилиты refineMesh. Новой версии графической оболочки принято решение присвоить название OpenFOAM\_GUI. Достижение поставленной цели требует выполнения комплекса задач.

*По структуре интерфейса графической оболочки:*

- (1) разработать макет экранной формы, соответствующий структуре служебного файла fineMeshDict, реализовать в макете необходимые элементы управления;
- (2) добавить в блок (дерево) отображения структуры расчетного случая ветвь, соответствующую экранной форме файла fineMeshDict;
- (3) добавить в панель инструментов управления генерацией расчетных сеток кнопку запуска утилиты refineMesh.

По логике работы графической оболочки:

- (1) разработать скрипт, автоматизирующий создание служебного файла `fineMeshDict` и заполнение его параметрами на основе данных соответствующей экранной формы;
- (2) реализовать валидаторы для контроля допустимости типов данных, указываемых пользователем через экранную форму;
- (3) реализовать `bash`-скрипт для автоматизации запуска утилиты `refineMesh` с помощью соответствующей кнопки главного окна графической оболочки;
- (4) для экранной формы файла `fineMeshDict` реализовать возможность переключения между русско- и англоязычной версиями интерфейса.

## 4 Выбор инструментария разработки

Эффективность реализации поставленной цели определяется многими факторами, в том числе выбором языка программирования логики программы, инструмента проектирования интерфейса, среды разработки. Согласно индексу ТЮВЕ по состоянию на сентябрь 2019 г., в список наиболее популярных языков программирования входят: Java, C и Python [11]. Возможности высокоуровневого языка программирования Python позволяют решать большинство задач в сфере разработки настольных и веб-приложений [12]. Кроме того, язык Python отличается простотой освоения и поддержкой многочисленных библиотек.

Графическая составляющая настольных Python-приложений может реализовываться на базе фреймворков Tkinter, PyQt и Kivy. Автором принято решение использовать фреймворк PyQt, для которого реализована подробная документация с примерами и существует многочисленное сообщество исследователей [13].

Таким образом, языком реализации логики программы выступает Python, интерфейс строится на базе фреймворка PyQt, в качестве системы хранения данных используется стандартная встроенная система управления базами данных SQLite. Для написания кода, его запуска и отладки принято решено применить интегрированную среду разработки PyCharm Community Edition (свободно распространяемая версия с базовым функционалом). Таблица 2 результирует выбранный инструментарий.

Перечисленный набор инструментов автор применил для разработки приложения. Для обеспечения возможности его использования на вычислительном

**Таблица 2** Список инструментария для разработки приложения

Язык программирования логики	Технология реализации интерфейса	Среда разработки
Python 3.5	PyQt5	PyCharm Community Edition

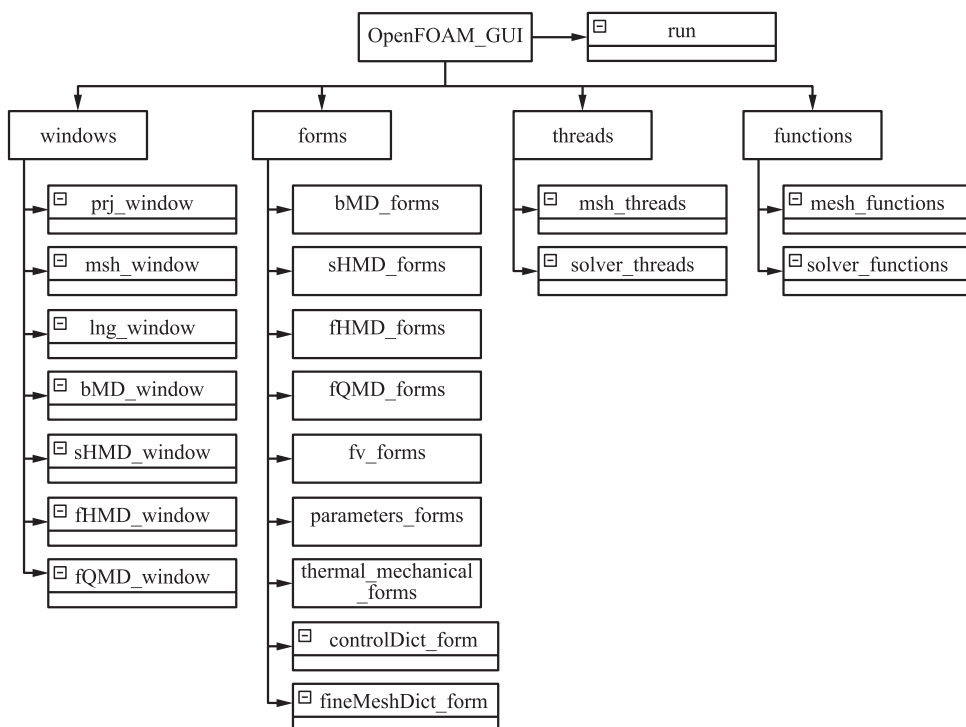


**Таблица 3** Перечень ПО для работы с приложением

ОС	Основное ПО	Дополнительное ПО
Linux Ubuntu	OpenFOAM 6.0	ParaView

устройстве необходимо выполнение требований по выбору операционной системы (ОС), а также по основному и дополнительному программному обеспечению (ПО) (табл. 3).

Программная среда OpenFOAM относится к свободно распространяемым программным приложениям и реализована для использования на вычислительных устройствах под управлением ОС семейства Linux. Соответственно, для работы с описываемым приложением необходимо придерживаться указанных требований, а также проверить наличие установленного пакета визуализации результатов расчетов (полученных моделей задач МСС) ParaView [14].



**Рис. 1** Структура приложения OpenFOAM\_GUI с интегрированным модулем для измельчения PC

## 5 Структура и логика работы приложения

Модуль для измельчения РС предполагается интегрировать в текущую версию графической оболочки rCF\_GUI, разработанной автором для постановки численных экспериментов на базе ПС OpenFOAM. Структура усовершенствованной версии приложения представлена на рис. 1.

На рис. 2 описана последовательность действий пользователя на этапе препроцессинга, включая процесс измельчения РС по нескольким направлениям.

Главное окно приложения предусматривает выбор проекта задачи МСС (расчетного случая) для выполнения операций с РС в рамках этапа препроцессинга. Подготовка сетки осуществляется посредством утилит blockMesh, snappyHexMesh, foamyQuadMesh, для каждой из которых в графической оболочке реализован соответствующий модуль.

По итогам генерации РС специалист запускает визуализацию и оценивает качество полученной сеточной модели, далее выполняет измельчение и повторную визуализацию. При необходимости можно внести правки и выполнить перечисленные шаги еще раз.



**Рис. 2** Последовательность действий при выполнении измельчения ячеек РС с помощью модуля, интегрированного в графическую оболочку rCF\_GUI

В основе реализации проекта лежит многослойная архитектура: слой представления, слой бизнес-логики и слой хранения данных. Слой представления воплощен в виде GUI на базе фреймворка PyQt5, слой бизнес-логики написан на базе языка программирования Python 3.5, слой хранения данных реализован с помощью DB-API sqlite3 для языка программирования Python.

## 6 Результаты исследования

Для проверки работоспособности усовершенствованной версии графической оболочки можно воспользоваться одним из учебных примеров (учебных задач МСС), входящих в дистрибутив ПС OpenFOAM. Например, задачей МСС throttle3D, моделируемой посредством решателя cavitatingFoam, который ориентирован на проведение исследований в области малозумного маневрирования объекта. Благодаря его использованию у специалистов появляется возможность заменить дорогостоящие и сложные испытания в аэродинамической трубе на имитационные программные испытания. Задача МСС throttle3D соответствует модели дросселя с одним двигателем и является актуальной для предприятий, работающих в сфере ракетостроения и авиакосмической промышленности [15, 16].

Описываемый в статье модуль расширяет исходный код созданной автором графической оболочки.

Усовершенствованная версия приложения OpenFOAM\_GUI (с интегрированным модулем для измельчения ячеек РС) размещена на сервисе GitHub и доступна для тестирования инженерами и исследователями [17].

## 7 Научная новизна исследования

В рамках настоящего исследования применены подходы, сформулированные автором ранее при подготовке базовой версии графической оболочки. Для модуля измельчения ячеек РС реализованы:

- (1) связка экранная «форма + файл с программным кодом». Тем самым внешнее представление интерфейса отделено от логики приложения, что упрощает его дальнейшую модификацию;
- (2) механизм сериализации параметров служебных файлов (в данном случае — файла fineMeshDict с параметрами измельчения). Механизм позволяет выполнять сохранение параметров и их последующее восстановление для внесения изменений в параметры измельчения;
- (3) механизм генерации bash-скриптов, обеспечивающий программный запуск утилит ПС OpenFOAM, в том числе и утилиты refineMesh [18];
- (4) механизм валидации входных параметров для обеспечения защиты от неверных действий пользователя при задании свойств измельчения ячеек РС.

## 8 Практическая значимость исследования

Тестирование рассматриваемого модуля показало его эффективность в рамках проведения одного из этапов препроцессинга — измельчения ячеек РС. Пользователи, поработавшие с модулем, отметили следующие его достоинства по сравнению с использовавшимся ранее подходом взаимодействия через командную строку:

- (1) существенная экономия времени. Этап препроцессинга наряду с этапом решения задачи МСС занимает продолжительное время. Разработанный автором модуль в части модификации сеточных моделей обеспечивает экономии времени при измельчении ячеек РС. Это достигается благодаря экранной форме, алгоритму генерации содержимого служебных файлов и механизму программного запуска консольной утилиты refineMesh ПС OpenFOAM;
- (2) минимизация ошибок в ходе препроцессинга. На этапе подготовки к измельчению ячеек РС, в частности подготовки файла fineMeshDict, специалист может сформировать неправильную структуру файла, указать данные некорректного типа или формата. Как следствие, итоговый результат численного эксперимента может не соответствовать параметрам задачи МСС. Система валидации входных данных позволяет исключить такую ситуацию;
- (3) упрощение освоения механизма измельчения ячеек РС при проведении численного моделирования задач МСС на базе ПС OpenFOAM. В графическом интерфейсе рассматриваемого модуля, как и в графической оболочке в целом, предусмотрены всплывающие подсказки, ключевые действия пользователя сопровождаются выводом служебных сообщений, к элементам управления форм прилагаются поясняющие надписи. В совокупности это способствует упрощению освоения утилиты refineMesh, применяемой в ПС OpenFOAM для измельчения ячеек РС.

## 9 Заключение

Для проведения численного моделирования задач МСС разработчиками созданы многочисленные программные комплексы, среди которых одним из наиболее популярных является ПС OpenFOM, поскольку относится к свободно распространяемому ПО и позволяет успешно создавать численные модели различных объектов и процессов во многих отраслях промышленности. Главный недостаток данной ПС заключается в отсутствии встроенных графических средств для управления численным экспериментом. Для его устранения автором предложено решение — графическая оболочка OpenFOAM\_GUI. Настоящая статья продолжает исследование, начатое в работе [1].

Один из этапов препроцессинга заключается в подготовке РС, определяющих точность итоговой цифровой модели. Для формирования РС в ПС OpenFOAM

предусмотрен набор встроенных утилит, которых в некоторых случаях оказывается недостаточно для задач с высокими требованиями по точности модели. В этом случае специалист может воспользоваться утилитой refineMesh, выполняющей на основе файла fineMeshDict измельчение РС по нескольким направлениям. Файл fineMeshDict определяет параметры измельчения.

Настоящая статья посвящена разработке программного модуля с графическим интерфейсом для автоматизации работы с утилитой refineMesh. Выполнена интеграция модуля с текущей версией программного решения OpenFOAM\_GUI. Исходный код модифицированной версии графической оболочки размещен на сервисе GitHub. Тестирование модуля на примере одной из учебных задач МСС, входящих в дистрибутив РС OpenFOAM, показало экономию рабочего времени специалистов, упрощение выполнения этапа измельчения ячеек РС в рамках препроцессинга численного моделирования.

## Литература

1. Читалов Д. И., Меркулов Е. С., Калашников С. Т. Разработка графического интерфейса пользователя для программного комплекса OpenFOAM // Программная инженерия, 2016. Т. 7. № 12. С. 568–574. doi: 10.17586/prin.7.568-574.
2. Читалов Д. И., Калашников С. Т. Разработка приложения для подготовки расчетных сеток с градирующими и изогнутыми краями для программной среды OpenFOAM // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 4. С. 122–135. doi: 10.14357/08696527180412.
3. Читалов Д. И., Калашников С. Т. Разработка приложения для подготовки расчетных сеток посредством утилиты snappyHexMesh программной среды OpenFOAM // Программные продукты и системы, 2018. Т. 31. № 4. С. 715–722. doi: 10.15827/0236-235X.124.715-722.
4. Читалов Д. И., Калашников С. Т. Разработка приложения для подготовки расчетных сеток с помощью утилиты foamxQuadMesh платформы OpenFOAM // Программная инженерия, 2018. Т. 9. № 7. С. 311–317. doi: 10.17587/prin.9.311-317.
5. Васильев В. А., Ницкий А. Ю. Численное моделирование турбулентного несжимаемого и сжимаемого потока с использованием открытого пакета OpenFOAM // Суперкомпьютерные технологии и открытое программное обеспечение. Обтекание тел сложной формы потоком вязкого газа. — Челябинск: ЧелГУ, 2014. С. 72–96.
6. Волков К. Н., Емельянов В. Н., Карпенко А. Г. Численное моделирование газодинамических и физико-химических процессов при обтекании тел гиперзвуковым потоком // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии, 2017. Т. 18. № 4. С. 387–405. doi: 10.26089/NumMet.v18r433.
7. OpenFOAM. The open source CFD toolbox. <https://www.openfoam.com>.
8. Salome. The open source integration platform for numerical simulation. <http://www.salome-platform.org>.
9. HELYX-OS. The market leading open-source GUI for OpenFOAM. <http://engys.com/products/helyx-os>.

10. Visual-CFD for OpenFOAM. <https://www.esi-group.com/software-solutions/virtual-environment/cfd-multiphysics/visual-cfd-openfoam>.
11. Мировой рейтинг языков программирования: индекс ТЮВЕ, сентябрь 2019. <https://pr-cy.ru/news/p/7648-mirovoy-reyting-yazykov-programmirovaniya-indeks-tiobe-sentyabr-2019>.
12. Прохоренок Н. А. Python 3 и PyQt. Разработка приложений. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 704 с.
13. PyQt5 Reference Guide. <https://www.riverbankcomputing.com/static/Docs/PyQt5>.
14. ParaView. <https://www.paraview.org>.
15. OpenFOAM. User Guide. <http://foam.sourceforge.net/docs/Guides-a4/OpenFOAMUserGuide-A4.pdf>.
16. OpenFOAM. Tutorial Guide. <https://www.openfoam.com/documentation/tutorial-guide/index.php>.
17. OpenFOAM\_GUI v. 1.0. [https://github.com/DmitryChitalov/OpenFOAM\\_GUI.v1](https://github.com/DmitryChitalov/OpenFOAM_GUI.v1).
18. Искусство написания Bash-скриптов. <https://www.opennet.ru/docs/RUS/bash-scripting-guide>.

*Поступила в редакцию 15.10.19*

---

---

## **DEVELOPMENT OF A MODULE FOR GRINDING MESHES CELLS IN SEVERAL DIRECTIONS AND ITS INTEGRATION INTO THE GUI FOR THE OpenFOAM SOFTWARE ENVIRONMENT**

*D. I. Chitalov*

South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, Ilmen reserve, Miass, Chelyabinsk Region 456317, Russian Federation

**Abstract:** This article is devoted to the development of a software module that extends the source code of the graphical shell rCF\_GUI, created by the author, and that allows automating one of the stages of a numerical experiment for the problems of continuum mechanics — grinding cells of computational meshes in several directions. This stage is performed as a part of preprocessing of a numerical experiment and determines the accuracy of the result (final numerical model). The goal of the study and the set of tasks for its achievement are formulated. The stack of technologies necessary for development of the module is defined, its block diagram and diagram describing the logic of use are presented. The implemented module is integrated into the current version of the graphical shell rCF\_GUI, which is available in the public access on the GitHub service. The module's capabilities have been tested as a part of the research with the training task of continuum mechanics in the field of aerodynamics, which is a part of the OpenFOAM software environment distribution. The results of the study are summarized, its novelty and practical significance are revealed.

**Keywords:** numerical simulation; continuum mechanics; refineMesh utility; OpenFOAM; open source software; graphical user interface; Python programming language; PyQt library

**DOI:** 10.14357/08696527200312

## References

1. Chitalov, D. I., Ye. S. Merkulov, and S. T. Kalashnikov. 2016. Razrabotka grafi-cheskogo interfeysa pol'zovatela dlya programmnoy kompleksa OpenFOAM [Development of a graphical user interface for the OpenFOAM toolbox]. *Programmnyaya inzheneriya* [Software Engineering] 7(12):568–574. doi: 10.17586/prin.7.568-574.
2. Chitalov, D. I., and S. T. Kalashnikov. 2018. Razrabotka prilozheniya dlya podgotovki raschetnykh setok s graduiruyushchimi i izognutymi krayami dlya programmnoy sredy OpenFOAM [Development of an application for the preparation of computational meshes with graduating and curved edges for the OpenFOAM software environment]. *Systems and Means of Informatics — Sistemy i Sredstva Informatiki* 28(4):122–135. doi: 10.14357/08696527180412.
3. Chitalov, D. I., and S. T. Kalashnikov. 2018. Razrabotka prilozheniya dlya podgotovki raschetnykh setok posredstvom utility snappyHexMesh programmnoy sredy OpenFOAM [Application development for preparing meshes using snappyHexMesh of OpenFOAM]. *Programmnye produkty i sistemy* [Software Systems] 31(4):715–722. doi: 10.15827/0236-235X.031.4.715-722.
4. Chitalov, D. I., and S. T. Kalashnikov. 2018. Razrabotka prilozheniya dlya podgotovki raschetnykh setok s pomoshch'yu utility foamyQuadMesh platformy OpenFOAM [Application development for meshes preparation using FoamyQuadMesh utility for the OpenFOAM toolbox]. *Programmnyaya inzheneriya* [Software Engineering] 9(7):311–317. doi: 10.17587/prin.9.311-317.
5. Vasiliev, V. A., and A. Yu. Nitsky. 2014. Chislennoe modelirovanie turbulentnogo neszhimaemogo i szhimaemogo potoka s ispol'zovaniem otkrytogo paketa OpenFOAM [Numerical modeling of turbulent incomplete and compressible flow using OpenFOAM open package]. *Superkomp'yuternye tekhnologii i otkrytoe programmnoe obespechenie. Obtekanie tel slozhnoy formy potokom vyazkogo gaza* [Supercomputer technology and open source software. Viscous gas flow around bodies of complex shape]. Chelyabinsk: Chelyabinsk State University. 72–96.
6. Volkov, K. N., V. N. Emelyanov, and A. G. Karpenko. 2017. Chislennoe modelirovanie gazodinamicheskikh i fiziko-khimicheskikh protsessov pri obtekanii tel giperzvukovym potokom [Numerical simulation of gas dynamic and physical-chemical processes in hypersonic flows past bodies]. *Vychislitel'nye metody i programirovanie: novye vychislitel'nye tekhnologii* [Numerical Methods and Programming: New Computing Technologies] 18(4):387–405. doi: 10.26089/NumMet.v18r433.
7. OpenFOAM. The open source CFD toolbox. Available at: <https://www.openfoam.com/> (accessed August 20, 2020).
8. Salome. The open source integration platform for numerical simulation. Available at: <http://www.salome-platform.org> (accessed August 20, 2020).
9. HELYX-OS. The market leading open-source GUI for OpenFOAM. Available at: <http://engys.com/products/helyx-os> (accessed August 20, 2020).

10. Visual-CFD for OpenFOAM. Available at: <https://www.esi-group.com/software-solutions/virtual-environment/cfd-multiphysics/visual-cfd-openfoam> (accessed August 20, 2020).
11. World ranking of programming languages: TIOBE index. September 2019. Available at: <https://pr-cy.ru/news/p/7648-mirovoy-reyting-yazykov-programmirovaniya-indeks-tiobe-sentyabr-2019> (accessed August 20, 2020).
12. Prokhorenok, N. A. 2012. *Python 3 i PyQt. Razrabotka prilozheniy* [Python 3 and PyQt. Application development]. St. Petersburg: BHV-Peterburg. 704 p.
13. PyQt5 reference guide. Available at: <https://www.riverbankcomputing.com/static/Docs/PyQt5/> (accessed August 20, 2020).
14. ParaView. Available at: <https://www.paraview.org/> (accessed August 20, 2020).
15. OpenFOAM. User guide. Available at: <http://foam.sourceforge.net/docs/Guides-a4/OpenFOAMUserGuide-A4.pdf> (accessed August 20, 2020).
16. OpenFOAM. Tutorial guide. 2018. Available at: <https://www.openfoam.com/documentation/tutorial-guide/index.php> (accessed August 20, 2020).
17. OpenFOAM GUI v. 1.0. Available at: [https://github.com/DmitryChitalov/OpenFOAM\\_GUI\\_v1](https://github.com/DmitryChitalov/OpenFOAM_GUI_v1) (accessed August 20, 2020).
18. Iskusstvo napisaniya Bash-skriptov [The art of writing bash scripts]. Available at: [https://www.opennet.ru/docs/RUS/bash\\_scripting\\_guide](https://www.opennet.ru/docs/RUS/bash_scripting_guide) (accessed August 20, 2020).

*Received October 15, 2019*

## **Contributor**

**Chitalov Dmitry I.** (b. 1989) — junior scientist, South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, Ilmen reserve, Miass, Chelyabinsk Region 456317, Russian Federation; [cdi9@yandex.ru](mailto:cdi9@yandex.ru)



## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОИСК ПРОТИВОРЕЧИЙ В КОНКРЕТНО-ИСТОРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

*И. М. Адамович<sup>1</sup>, О. И. Волков<sup>2</sup>*

**Аннотация:** Статья продолжает серию работ, посвященных технологии поддержки конкретно-исторических исследований (ПКИИ). Технология построена на принципах сотворчества и краудсорсинга и ориентирована на широкий круг пользователей, не относящихся к профессиональным историкам и биографам. Статья посвящена дальнейшему развитию технологии путем интеграции в нее механизма автоматизированного поиска противоречий в конкретно-исторической информации. Обосновывается невозможность использования существующих подходов к данной проблеме, вытекающая из специфики конкретно-исторического исследования и обрабатываемой в его рамках информации, представленной в форме историко-биографического факта. Сформулированы цели поиска противоречий в конкретно-исторической информации, вытекающие из этой специфики и заключающиеся не в сужении объема доступной исследователю информации, а в выявлении новых направлений исследования. Проведена классификация видов противоречий в конкретно-исторической информации, обосновано введение в технологию механизма поддержки нормалей, регламентирующих зависимости между фактами. Описаны и обоснованы необходимые изменения объектной модели технологии, приведено подробное описание алгоритма, определены процедуры обработки результатов поиска.

**Ключевые слова:** конкретно-историческое исследование; распределенная технология; противоречие; историко-биографический факт; автоматизированная процедура

**DOI:** 10.14357/08696527200313

### 1 Введение

Поддержка конкретно-исторических исследований — одна из актуальных задач современности в связи с вовлечением в исследовательский процесс не только членов профессионального исторического сообщества, но и самых широких слоев непрофессионалов в связи со все возрастающим интересом к частной, семейной истории [1].

---

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, Adam@amsd.com

<sup>2</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, Volkov@amsd.com

В [2, 3] описана разработанная в ФИЦ ИУ РАН распределенная технология ПКИИ, основанная на принципах краудсорсинга (мобилизации ресурсов широкого круга добровольцев посредством информационных технологий). Данные технологии организованы в форме семантической сети. Узлы сети представляют собой именованные универсальные классы объектов. Факты задаются значениями экземпляров классов и связями между ними. Связи наследуются из сети классов [4].

Специфика конкретно-исторического исследования состоит в том, что факты, которыми оперирует исследователь (историко-биографические факты), обладают свойством фрагментарности и противоречивости. Получение этих фактов — необходимая и наиболее трудоемкая стадия биографического исследования, состоящая в работе в архивах и просмотре огромного числа документов. Работа исследователя на втором этапе состоит в сопоставлении выявленных фактов между собой с целью взаимоувязывания и разрешения противоречий [5].

Существуют и активно развиваются многочисленные подходы к проблеме поиска логических и семантических противоречий в данных [6–8]. В основном, это автоматический поиск формальных противоречий в условиях больших данных, не поддающихся ручному анализу за разумное время.

Как показано выше, к специфике конкретно-исторического исследования относится высокая трудоемкость поиска информации, из чего с неизбежностью следуют ограниченность и фрагментарность объема фактов, с которым работает исследователь. В условиях представления фактов в форме иерархических структур в рамках семантической сети технологии ПКИИ прямые формальные противоречия видны исследователю непосредственно.

Проблема поиска неформальных противоречий состоит в том, что биографические факты, увязывающие объекты исторической реальности с их динамическими характеристиками (атрибутами), связаны определенными зависимостями. Эти зависимости регламентируются естественными закономерностями, определяющими допустимые последовательности событий и задающими некий шаблон, сценарий или набор ограничений (например: смерть следует за рождением; имеются допустимые пределы разницы между датой рождения человека и границами жизни его родителей; в каждый конкретный момент времени человек может находиться только в одной точке географического пространства), законами природы, законами и нормативными документами, традициями [9].

Формулировки регламентирующих закономерностей, законов, традиций называются нормальными. Именно нормаль позволяют сопоставить факты, выявить и разрешить противоречия, сформировать новые факты-следствия, интегрировать данные в общую картину. Лишь в редких случаях нормаль может быть формализована и представлена в форме, допускающей ее автоматическую обработку. Большинство из них задается неформальными текстами или даже отсылкой на некоторое неформальное знание. Проверка соблюдения их правил — «ручная» процедура [9]. При этом, поскольку любая нормаль может иметь как сроки действия, так и множество исключений и редакций, что может

быть не в полной мере отражено в ее краткой формулировке, различные исследователи могут воспринимать ее по-разному, ошибочно упуская из рассмотрения различные ее аспекты.

Применительно к технологии ПККИИ задача поиска противоречий в конкретно-исторических данных с учетом всех этих проявлений специфичности конкретно-исторического исследования распадается на две подзадачи:

- (1) поиск прямого противоречия между двумя фактами. В технологии ПККИИ эта задача сводится к сравнению различных значений одного атрибута одного объекта. Пример противоречия: дата рождения лица указана по-разному в разных документах. Противоречие видно исследователю непосредственно и не нуждается в автоматизации. Какая-либо доработка технологии в этом случае не требуется;
- (2) поиск неформального противоречия между группой фактов и связывающими их нормами. Пример противоречия: проживание лица в 1901 г. — г. Сумы Харьковской губернии, национальность лица — еврей. Город Сумы располагался вне пределов черты оседлости. В Российской империи с 1791 по фактически 1915 гг. евреям запрещалось проживание за пределами черты оседлости. Данное противоречие не означает автоматически ошибки в данных, поскольку соответствующая норма фактически имела ряд исключений: например, проживание вне черты оседлости разрешалась евреям-купцам 1-й гильдии. Поэтому выявление факта противоречия становится не поводом отбросить якобы ошибочные данные, как предполагает традиционный подход к задаче выявления противоречий, но только повод исследователю сконцентрироваться на поиске свидетельств наличия оснований для исключений, т. е. выявление противоречия вместо сужения объема информации дает новый импульс исследованию, что иллюстрирует специфичность конкретно-исторического исследования.

Противоречия такого рода не могут быть разрешены автоматически с помощью рассмотренных выше традиционных подходов к задаче поиска семантических противоречий в больших данных. Целью настоящей статьи ставится описание подхода к решению данной задачи и соответствующих доработок технологии ПККИИ.

## 2 Модификация объектной модели технологии

Автоматизация поиска противоречий осложняется тем, что структура и состав семантической сети технологии ПККИИ не определены заранее, а создаются динамически широким кругом не связанных между собой исследователей, т. е. алгоритм поиска противоречий не может опереться на заранее известное расположение нормалей в базе данных (БД) технологии, какие-либо изначально фиксированные их связи с атрибутами объектов, состав и наименование темпо-

ральных атрибутов и т. п. Поэтому требуется модификация объектной модели технологии.

1. Вводится понятие нормали, для которой пользователем могут быть заданы:
  - наименование;
  - неформализованное описание в текстовой форме;
  - сроки действия;
  - перечень исключений;
  - перечень редакций нормали с описанием и сроками действия редакций.

Любой из этих параметров нормали не является обязательным для ввода, поскольку пользователь может и не знать каких-то тонкостей, не будучи специалистом именно в этом вопросе, а может что-то сознательно опустить, поскольку для целей его исследования это не важно.

Для поиска уже введенных нормалей и исключения дублирования вводится их тегирование. К сожалению, связать нормали с иерархическим рубрикаторм в условиях пополнения БД технологии ПКИИ множеством независимых исследователей невозможно. Следует рассмотреть возможность использования иерархических тегов [10], для которых доказана эффективность их использования в условиях распределенных технологий.

2. Для автоматизации поиска противоречий необходимо завершить формализацию темпоральных атрибутов. Поддержка основных способов задания дат в исторических документах за счет введения типов значений «не задано», «раньше», «позже», «одновременно» и «примерно одновременно», а также отношений темпоральных параметров без указания самих значений этих параметров, что позволяет, например, определять дату рождения через возраст на конкретную дату, была осуществлена при создании единой технологии ПКИИ с опорой на систему Т-парсер, осуществляющую автоматическое извлечение фактов из текстов историко-биографической направленности, и инструментальный комплекс  $\pi$ -Фактограф, ориентированный на поддержку самого исследовательского процесса [3]. Недостаток текущей реализации технологии в плане автоматизации процесса поиска противоречий — излишняя универсальность объектной модели, не позволяющая алгоритму отличить темпоральные атрибуты от прочих, поскольку тип значения «дата» или «диапазон дат» не является для них единственно возможным. Атрибут, задающий число лет от известной даты, — темпоральный, но имеет тип значения «целое», что не позволяет алгоритму идентифицировать его. Для решения этой проблемы вводится явное указание темпоральности атрибута.

### 3 Алгоритм поиска противоречий

Поскольку нормали не формализованы, а их связи с атрибутами не фиксированы, алгоритм поиска противоречий строится с опорой на прецеденты, т. е. на противоречия, явно выявленные пользователями.

Алгоритм поиска противоречий имеет три подсистемы, обеспечивающих последовательное выполнение следующих этапов:

- создание прецедента пользователем;
- автоматический поиск противоречий по прецеденту;
- обработка результатов поиска.

1. Создание прецедента пользователем.

В случае нахождения противоречия пользователем он фиксирует его. По опыту проведенных конкретно-исторических исследований исследователь заинтересован в фиксации и тщательном описании всех аспектов противоречия, поскольку, как было показано выше, именно они дают импульс и задают направление дальнейшему исследованию. Поэтому подсистема создания прецедента, позволяющая зафиксировать тщательное описание противоречия, будет востребована исследователями-прагматиками, а набор прецедентов будет постоянно пополняться, несмотря на то что от пользователей распределенной технологии, действующих бесплатно на добровольных началах, не следует ожидать альтруистического поведения.

Пользователь создает прецедент типа «П» (или П-противоречие — противоречие, заданное пользователем). Для него фиксируются:

- набор условий соответствия нормалям;
- набор условий противоречия.

Условие противоречия представляет собой ссылку на нормаль и логико-арифметическое выражение над значениями атрибутов неких объектов, истинность которого является требованием нормали, но не выполняется в реальности для данных объектов, в чем и проявляется противоречие. Например, если некоторый человек, выступающий объектом биографического исследования, был призван на военную службу в 1886 г., а уволен в запас в 1889 г., то условие противоречия будет состоять из ссылки на Высочайше утвержденное мнение Государственного Совета от 14 июня 1888 г. «Об изменении сроков службы в войсках и в ополчении и правил, относящихся до ратников первого разряда ополчения» и условие:

$$\langle \text{дата увольнения в запас} \rangle - \langle \text{дата призыва} \rangle = 5 \text{ лет,}$$

поскольку статья 17 указанной нормали гласит: «Общий срок службы в сухопутных войсках для поступающих по жеребью устанавливается в 18 лет, из коих 5 лет действительной службы и 13 лет в запасе». Как легко видеть, для данного примера это условие не выполняется, в чем и заключается противоречие.

Условие соответствия нормали определяет применимость нормали к данной ситуации. Условия разделяются на темпоральные и прочие. Обязательное темпоральное условие определяет соответствие даты основного события срокам действия нормали. Такое условие задается ссылкой на нормаль и значением темпорального атрибута (в вышеописанном примере — дата увольнения в запас).

Прочие условия задаются аналогично условиям противоречия, т.е. ссылкой на нормаль и логико-арифметическим выражением над значениями атрибутов неких объектов, истинность которого служит критерием применимости нормали. Такое разделение определяется тем, что нетемпоральные условия в принципе не формализуемы на уровне нормали, поскольку нет объективных способов привязать реальную норму права или объективную закономерность к структуре семантической сети. Обратное же действие вполне возможно.

## 2. Автоматический поиск противоречий по прецеденту.

После появления нового П-противоречия алгоритм проводит поиск объектов того же типа (иных экземпляров тех же понятий), для которых все условия из набора условий соответствия нормальям истинны, а какие-то из условий противоречия не выполняются, и объявляет для них противоречие типа «А» (или А-противоречие — противоречие, зафиксированное автоматически, т.е. требующее подтверждения пользователем).

## 3. Обработка результатов поиска.

Для А-противоречия пользователь может выполнить одно из следующих действий:

- подтвердить, сменив тип противоречия на «П»;
- отменить с пометкой «Исключение» с указанием набора условий исключения в форме логико-арифметических выражений над значениями атрибутов, истинность которых является критерием исключения для данного противоречия. Примером такого условия для описанной выше ситуации может служить наличие высшего образования, поскольку сроки действительной военной службы для имевших высшее образование существенно сокращались. Исключение из одного противоречия вполне может стать предметом другого, рассматривающего именно такие случаи. Алгоритм проверит прочие аналогичные противоречия типа «А» и в случае обнаружения набора атрибутов, для которых условие исключения истинно, отменит их автоматически;
- отменить с пометкой «Особый случай». В этом случае причина считается неформальной и не указывается. К корректировке прочих противоречий данная отмена не приводит;
- отменить с пометкой «Несоответствие дат» с указанием даты и нормали, сроком действия которой она не соответствует. Приводит к соответствующей корректировке сроков действия нормали с пометкой «А» (задано автоматически). Данная ситуация возникает, когда сроки действия нормали не указаны исходно;
- откорректировать П-противоречие, обнаружив в результате анализа А-противоречия, что исходно не было указано существенное условие и в результате поиск противоречий проводился и для объектов, к которым соответствующая нормаль не применима. После этого повторно проводится поиск А-противоречий.

## 4 Выводы

Предложенный механизм автоматизации поиска противоречий в историко-биографических фактах существенно дополняет и развивает технологию ПКИИ, ориентированной на широкий круг не являющихся профессиональными историками и биографами пользователей, что очень актуально в связи со все возрастающим общественным интересом к частной, семейной истории.

Механизм в полной мере отражает специфику конкретно-исторического исследования и служит не сужению и так крайне скудной конкретно-исторической информации за счет исключения якобы ошибочных данных, как предполагает традиционный подход к задаче выявления противоречий, а выявлению новых направлений исследования.

Модификация технологии предполагает незначительное усовершенствование объектной модели технологии и создание соответствующего алгоритма, эффективность которого может быть оценена методом моделирования.

## Литература

1. *Грибач С. В.* Исследование семейных кризисов посредством психолингвистического эксперимента // Сборники конф. НИЦ Социосфера, 2010. № 6. С. 45–54.
2. *Адамович И. М., Волков О. И.* Технология распределенного автоматизированного анализа исторических текстов // Системы и средства информатики, 2016. Т. 26. № 3. С. 148–161. doi: 10.14357/08696527160311.
3. *Адамович И. М., Волков О. И.* Единая технология поддержки конкретно-исторических исследований // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 1. С. 194–205. doi: 10.14357/08696527190116.
4. *Адамович И. М., Волков О. И.* Принципы организации данных для технологии поддержки конкретно-исторических исследований // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 2. С. 161–171. doi: 10.14357/08696527190214.
5. *Адамович И. М., Волков О. И.* Иерархическая форма представления биографического факта // Системы и средства информатики, 2016. Т. 26. № 2. С. 108–122. doi: 10.14357/08696527160207.
6. *Вавиленкова А. И.* Выявление логических противоречий в текстовой информации // Вестник НТУ ХПИ, 2012. № 38. С. 32–37.
7. *Касьмова Д. Т., Утепбергенов И. Т., Ескеидирова Д. М., Ахмедиярова А. Т.* Подход к выявлению и устранению семантических противоречий в «Больших данных» // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, 2017. № 2(101). С. 200–206.
8. *Нитежук М. С.* Верификация и поиск противоречий в базах знаний интеллектуальных систем // Молодая наука Сибири, 2018. № 2(2). С. 68–78.
9. *Маркова Н. А.* Логика биографических фактов // Информатика и её применения, 2012. Т. 6. Вып. 2. С. 87–96.
10. *Адамович И. М., Волков О. И., Маркова Н. А.* Метод классификации информации на основе иерархических тегов и его реализация на примере семейного архивного фонда // Системы и средства информатики, 2012. Т. 22. № 2. С. 146–156.

*Поступила в редакцию 22.04.20*

## **AUTOMATED SEARCH FOR CONTRADICTIONS IN CONCRETE-HISTORICAL INFORMATION**

*I. M. Adamovich and O. I. Volkov*

Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation

**Abstract:** The article continues the series of works devoted to the technology of concrete historical research support. The technology is based on the principles of co-creation and crowdsourcing and is designed for a wide range of users which are not professional historians and biographers. The article is devoted to the further development of the technology by integrating the mechanism of automated search for contradictions in concrete-historical information. The impossibility of using existing approaches to this problem was substantiated by the specificity of concrete-historical research and the processed in its context information which is presented in the form of historical-biographical fact. The goals of searching for contradictions in concrete-historical information which follow from this specificity and consist not in reducing of available to the researcher information but in discovery of new lines of research are formulated. The classification of types of contradictions in concrete-historical information is carried out and the usage of the mechanism of normals supporting regulating the dependencies between facts is justified. The necessary changes to the technology object model are described and justified, the algorithm is described in detail, and the procedures for processing search results are defined.

**Keywords:** concrete historical investigation; distributed technology; contradiction; historical-biographical fact; automated procedure

**DOI:** 10.14357/08696527200313

### **References**

1. Gribach, S. V. 2010. Issledovanie semeynykh krizisov posredstvom psikholingvisticheskogo eksperimenta [The study of family crises through a psycholinguistic experiment]. *Sborniki konf. NITs Sotsiosfera* [Science Publishing Centre “Sociosphere” Conference Proceedings] 6:45–54.
2. Adamovich, I. M., and O. I. Volkov. 2016. Tekhnologiya raspredelenogo avtomatizirovannogo analiza istoricheskikh tekstov [The distributed automated technology of historical texts analysis]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 26(3):148–161. doi: 10.14357/08696527160311.
3. Adamovich, I. M., and O. I. Volkov. 2019. Edinaya tekhnologiya podderzhki konkretno-istoricheskikh issledovaniy [Unified technology of concrete historical research support]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(1):194–205. doi: 10.14357/08696527190116.



4. Adamovich, I. M., and O. I. Volkov. 2019. Printsipy organizatsii dannykh dlya tekhnologii podderzhki konkretno-istoricheskikh issledovaniy [The principles of data organization for the technology of concrete historical research support]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 2(29):161–171. doi: 10.14357/08696527190214.
5. Adamovich, I. M., and O. I. Volkov. 2016. Ierarkhicheskaya forma predstavleniya biograficheskogo fakta [Hierarchical format of biographical fact]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 2(26):108–122. doi: 10.14357/08696527160207.
6. Vavilenkova, A. I. 2012. Vyyavlenie logicheskikh protivorechii v tekstovoy informatsii [Identification of logical contradictions in the text information]. *Vestnik NTU KhPI [NTU KhPI Bull.]* 38:32–37.
7. Kassymova, D. T., I. T. Utepbergenov, D. M. Eskendirova, and A. T. Ahmediyarova. 2017. Podkhod k vyyavleniyu i ustranenyu semanticheskikh protivorechii v “Bol’shikh dannykh” [Approach to identifying and eliminating semantic conflict in big data]. *Vestnik KazATK [KazATC Bull.]* 2(101):200–206.
8. Nitezhuik, M. S. 2018. Verifikatsiya i poisk protivorechii v bazakh znaniy intellektual’nykh sistem [Verification and search of contradictions in knowledge bases of the intelligent systems]. *Molodaya nauka Sibiri [Young Science of Siberia]* 2(2):68–78.
9. Markova, N. A. 2012. Logika biograficheskikh faktov [A logic of biographical facts]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 6(2):87–96.
10. Adamovich, I. M., O. I. Volkov, and N. A. Markova. 2012. Metod klassifikatsii informatsii na osnove ierarkhicheskikh tegov i ego realizatsiya na primere semeynogo arkhivnogo fonda [Method of information classification based on hierarchical tags and its implementation on the example of a family archive]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 2(22):134–144.

Received April 22, 2020

## Contributors

**Adamovich Igor M.** (b. 1934)— Candidate of Science (PhD) in technology, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; Adam@amsd.com

**Volkov Oleg I.** (b. 1964) — leading programmer, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; Volkov@amsd.com

## СИТУАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УНИВЕРСАЛЬНОГО ДОГОВОРА В ЦИФРОВОЙ СРЕДЕ

*А. В. Ильин<sup>1</sup>, В. Д. Ильин<sup>2</sup>*

**Аннотация:** Ситуационная модель программно реализуемого в цифровой среде универсального договора (УЦС-договора) рассматривается как часть методологического обеспечения технологий реализации договорных отношений: УЦС-договор может отражать имущественные отношения (банковский договор, договор о торговой сделке и др.), трудовые отношения (трудовой договор, договор подряда и др.) и любые другие отношения договорившихся сторон (физических и/или юридических лиц). Он представляет собой систему обязательных и ориентирующих требований, определяющих поведение и статусы сторон. Процесс выполнения УЦС-договора представлен определенными в нем ситуациями. Данные, определяющие ситуации, поставляются цифровыми двойниками, обслуживающими УЦС-договор. Эти данные передаются на вход программы УЦС-договора, выполняемой на компьютерных устройствах (смартфонах, ноутбуках и др.) сторон. Ситуационная модель УЦС-договора основана на идее смарт-контракта, предложенной Ником Сабо, и методологии ситуационной информатизации, разработанной авторами. Предложенная модель может быть применена при разработке технологий произвольных договорных отношений, реализуемых в цифровой среде.

**Ключевые слова:** универсальный договор в цифровой среде (УЦС-договор); ситуационная модель УЦС-договора; технология договорных отношений; смарт-контракт; цифровые двойники, обслуживающие УЦС-договор

**DOI:** 10.14357/08696527200314

### 1 Введение

Договорные отношения определяют взаимодействие физических и/или юридических лиц (сторон договора) в различных видах деятельности. Они служат правовым основанием в имущественных, трудовых и других отношениях. Договором обычно называют документально оформленное соглашение не менее двух сторон об установлении, изменении или прекращении некоторых прав и обязанностей. Четкость определения предмета договора и правил его исполнения во многом определяют результативность договорных отношений. Нередко многообразие и неоднозначность формулировок служат прикрытием намерений скрыть

---

<sup>1</sup>Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, [ilyin@res-plan.com](mailto:ilyin@res-plan.com)

<sup>2</sup>Вычислительный центр им. А. А. Дородницына Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, [vdilyin@yandex.ru](mailto:vdilyin@yandex.ru)

уязвимости и сделать договор выгодным для одной из сторон. Возможны ли договоры, истолкование и исполнение которых не вызывало бы таких разногласий, которые требуют затрат на юристов и судебные разбирательства?

Довольно успешной попыткой ответить на этот вопрос стала предложенная Ником Сабо (*англ.* Nick Szabo) концепция программно реализуемого договора, названного *смарт-контрактом* [1]. Смарт-контракт рассматривается как соглашение сторон, готовых сотрудничать в расчете на получение выгоды с ограниченным риском причинения взаимного вреда. В процессе исполнения смарт-контракта (при выполнении определенных условий) та или иная сторона получает оговоренное в контракте приобретение (это может быть электронный документ, денежная сумма или что-то еще). Модели смарт-контрактов называют также *моделями сотрудничества без уязвимости* (*англ.* Patterns of Cooperation without Vulnerability).

Реализация технологий *цифровой экономики* [2–8] предполагает цифровизацию процессов формирования, заключения и исполнения договоров различных видов. Представленная в статье *ситуационная модель универсального договора, реализуемого в цифровой среде (ситуационная модель УЦС-договора)* основана на идее *смарт-контракта* [1] и *методологии ситуационной информатизации социально-экономических процессов* [9, 10].

**Запись формул и выделение фрагментов текста.** Для выделения определений, замечаний и примеров используются средства языка TSM-комплекса (TSM: textual symbolic modeling), разработанного для формализованного описания текстовых моделей [11].

В статье применены следующие средства выделения фрагментов текста: □ ⟨фрагмент описания⟩ □ ≈ утверждение (определение, аксиома и др.) (здесь и далее символ ≈ заменяет слово «означает»);

◇ ⟨фрагмент описания⟩ ◇ ≈ замечание;

○ ⟨фрагмент описания⟩ ○ ≈ пример.

Курсивом выделены первые вхождения названий понятий и фрагменты описания, к которым авторы хотят привлечь внимание.

**Обсуждаемые результаты.** В статье представлена часть результатов *методологического обеспечения технологий произвольных договорных отношений, реализуемых в цифровой среде*. Результаты получены при выполнении научно-исследовательской работы «Моделирование социальных, экономических и экологических процессов» (№ 0063-2016-0005), выполняемой в соответствии с государственным заданием ФАНО России для Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН.

◇ Материал статьи адресован прежде всего исследователям, занимающимся методологическим обеспечением разработок *информационных технологий цифровой экономики*. ◇

## 2 Методологическое обеспечение ситуационных технологий формирования и реализации договорных отношений в цифровой среде: концептуальные основы

Каждый вид УЦС-договора (○ о *платежном* или *товарном кредите* [12] ○) представлен *интерактивной интеллектуальной системой (УЦСД-системой)*, содержащей описание предмета и условий УЦС-договора, правил его формирования, заключения и исполнения *сторонами УЦС-договора (УЦСД-сторонами)*.

Универсальный договор в цифровой среде считается заключенным, если каждая из сторон документально подтвердила принятие предложения заключить договор. Заключению договора предшествует документально оформленный процесс определения предмета договора и всех существенных условий его исполнения.

В процессе формирования, заключения и исполнения договора УЦСД-система обменивается сообщениями с *УЦСД-сторонами* и сетевой кооперацией обучаемых *цифровых двойников* [13], отслеживающих названные процессы. Таким способом осуществляется информированность УЦСД-сторон (по их запросам и при наступлении ситуаций, определенных в договоре).

**Пространство состояний договорных отношений.** Для этого пространства должны быть определены типы контролируемых нарушений УЦС-договора; для каждого типа нарушений — множество допустимых воздействий на нарушившую договор сторону; для каждого допустимого воздействия — множество обеспечивающих воздействие ресурсов (информационных, административных и др.); правила, устанавливающие соответствие между нарушениями и воздействиями; правила, устанавливающие соответствие между воздействиями и обеспечивающими ресурсами; правила формирования обеспечивающих ресурсов [14].

**Ситуации и их портреты.** □ *Ситуация в договорных отношениях* — событийный фрагмент пространства состояний договорных отношений. *Целевой* называется ситуация, которую планируется создать в результате исполнения договора; *стартовой* — ситуация в момент заключения договора; *достигнутой* — ситуация, сложившаяся в процессе исполнения договора. □

□ *Портрет ситуации* — специфицированное описание пространства состояний договорных отношений. Содержит данные, характеризующие существенные параметры этого пространства, располагаемые варианты допустимых воздействий (в случаях нарушений) и ресурсы, необходимые для реализации воздействий. □

Портрет ситуации рассчитан на анализ сторонами УЦС-договора. Он выполнен (с использованием терминов, принятых сторонами договора) в форме гипермедийного документа. Обязательное свойство этого документа (предусмотренное для удобства анализа) — возможность свертки-развертки фрагментов портрета.

Портрет ситуации формируется в соответствии со специальной системой правил. На вход этой системы поступают данные о параметрах пространства состо-

яний договорных отношений, о располагаемых типах воздействий и о ресурсах, обеспечивающих реализацию воздействий.

Динамика изменения ситуаций отражается посредством временных рядов, состоящих из портретов ситуаций. Это позволяет сторонам УЦС-договора проследить последствия реализации воздействий. Портреты ситуаций хранятся в специальном архиве УЦСД-системы [9, 10, 14].

**Ситуационная оценка состояний доходной и расходной части социально-экономического проекта, реализуемого по универсальному договору в цифровой среде: пример.** *Ситуация в процессе реализации УЦС-договора (УЦСД-ситуация)* — состояние доходной и расходной части проекта, представленное совокупностью параметров, описывающих источники поступлений денежных средств, расходные статьи и др.

*Целевой* называется УЦСД-ситуация, которую планируется создать в результате завершения проекта; *стартовой* — существующую в начале разработки проекта; *достигнутой* — созданную в результате выполнения этапа проекта.

*Портрет УЦСД-ситуации* — программно реализуемое описание состояния доходной и расходной части проекта.

Совокупность правил построения портрета УЦСД-ситуации, порядок их срабатывания и истинность описаний определяются *механизмом интерпретации* запросов на заданном множестве правил исполнения УЦС-договора.

**Правила договорных отношений.** □ Правила *УЦС-договора (УЦСД-правила)* составлены из *обязательных* и/или *ориентирующих требований*. *Правило УЦС-договора* — это выражение одного из двух видов: либо  $S_1 \rightarrow S_2$ , либо  $S \rightarrow I$ . Здесь  $S$ ,  $S_1$  и  $S_2$  — описания произвольных ситуаций, принадлежащих множеству контролируемых УЦСД-ситуаций, а  $I$  — инструкция, определяющая действия в случае наступления ситуации  $S$ . □

Система правил УЦС-договора упорядочена с помощью *отношения специализации*. Если *правило*  $r_2$  определено как *специализация правила*  $r_1$ , то оно предназначено для срабатывания в более частной ситуации, чем  $r_1$  (обобщение  $r_2$ ). Любое правило-специализация имеет приоритет в срабатывании перед соответствующим правилом-обобщением [9, 10].

*Обязательные требования* входят в состав непременно исполняемых правил изменения статусов и/или действий сторон при наступлении ситуаций, предопределенных в договоре.

*Ориентирующие требования* входят в состав необязательно исполняемых правил. Следование этим правилам в той или иной ситуации определяется выбором каждой из сторон договора. Наличие в системе правил УЦС-договора обязательных и ориентирующих требований делает ее более гибкой и адаптивной. При отсутствии правил с ориентирующими требованиями система правил становится жесткой (непременно исполняемой).

○ В процессе исполнения УЦС-договора онлайн-бюджетирования [15] доходы и запросы по расходным статьям обновляются в течение всего жизненного цикла бюджетирования. Это связано с конкретизацией источников доходов

и расходных статей, уточнением величин располагаемых денежных средств, изменением цен и другими факторами. Невозможность точного прогноза доходной части — аксиома, справедливая и для расходных статей. Поэтому более адекватным выглядит представление данных и результата в виде числовых отрезков (левая граница отрезка соответствует наименьшему ожидаемому значению, а правая — наибольшему) *с учетом реальной точности данных и реализации решений* [16].

Приведем пример обязательных и ориентирующих требований в задаче онлайн-бюджетирования, решаемой в соответствии с УЦС-договором о бюджетных отношениях. Для числового отрезка  $[a^{\min}, a^{\max}]$  ( $a^{\min} \geq 0, a^{\max} > 0$ ), задающего оценку распределяемой суммы денег, отрезков  $[b_i^{\min}, b_i^{\max}]$  ( $b_i^{\min} \geq 0, b_i^{\max} > 0, i = 1, \dots, n$ ), задающих запросы по расходным статьям, и весовых коэффициентов (приоритетов) расходных статей  $p_i > 0$  ( $i = 1, \dots, n$ ) требуется найти распределение по статьям

$$[x_i^{\min}, x_i^{\max}] : \left\{ 0 \leq x_i^{\min} \leq b_i^{\min}, x_i^{\max} \leq b_i^{\max}, \sum x_i^{\min} \leq a^{\min}, \sum x_i^{\max} \leq a^{\max}, i = 1, \dots, n \right\}. \quad (1)$$

Для совокупного вектора искомого плана  $\mathbf{x} = (x_1^{\min}, \dots, x_n^{\min}, x_1^{\max}, \dots, x_n^{\max})$  может быть также задан набор требований

$$C\mathbf{x} \leq \mathbf{d} \leftarrow \mathbf{q}, \quad (2)$$

где  $C$  — матрица вещественных коэффициентов размера  $k \times 2n$  ( $k \geq 1$ );  $\mathbf{d}$  — вектор-столбец вещественных констант размера  $k$ ;  $\mathbf{q}$  — вектор-столбец весовых коэффициентов (приоритетов) требований ( $0 < q_i \leq +\infty, i = 1, \dots, k$ ).

*Обязательные требования* имеют приоритет  $+\infty$ . Приоритеты *ориентирующих требований* задаются положительными вещественными числами. Требования (1) являются обязательными. Требования (2) могут быть как обязательными, так и ориентирующими. Метод решения задачи приведен в [17].

### 3 Применение договорных отношений в технологиях товарно-денежного обращения

Технологии платежного и товарного кредитования на основе УЦС-договорных отношений рассчитаны прежде всего на увеличение информационной неуязвимости товарно-денежного обращения в цифровой среде [12].

*Платежное кредитование* рассматривается как программно контролируемая частичная или полная предоплата заказанных товаров, правила реализации которой жестко связаны с правилами исполнения заказа. График перечисления платежного кредита содержится в УЦС-договоре и контролируется в процессе реализации договора.

*Товарное кредитование* — программно контролируемая поставка заказанных товаров с частичной или полной отсрочкой оплаты, правила реализации которой жестко связаны с правилами поставки (основано на *технологии электронной долговой торговли* [18]). Обеспечивает оформление отсроченной части оплаты товара как долга покупателя (заказчика) продавцу (поставщику), имеющему *корпоративный электронный банк* или *персональный электронный банк*. Неоплаченная часть стоимости товара оформляется как долг, график выплаты которого фиксируется в УЦС-договоре (где указываются штрафные санкции за нарушение графика выплат долга и ненадлежащее качество проданного (поставленного) товара).

Мониторинг исполнения УЦС-договора — задача, решаемая комплексом цифровых двойников, представляющим собой сетевую обучаемую *ситуационную модель* доходной и расходной части проекта, реализованную в *человеко-машинной среде решения задач (s-среде)* [11].

## 4 Заключение

Ситуационная модель УЦС-договора — расширение арсенала методологического обеспечения разработок технологий совершенствования различных видов деятельности, реализуемых в цифровой среде на основе договорных отношений.

Служит ядром методологического обеспечения разработок ситуационных технологий формирования и исполнения УЦС-договоров.

В предложенной модели определены правила, включаемые в УЦС-договоры; обязательные и ориентирующие требования, применяемые в правилах; пространство состояний договорных отношений; ситуации (целевая, достигнутая и др.), определяющие состояния договорных отношений; портреты ситуаций.

## Литература

1. Szabo N. Formalizing and securing relationships on public networks // First Monday, 1997. <https://firstmonday.org/article/view/548/469>.
2. Tapscott D. The digital economy: Promise and peril in the age of networked intelligence. — New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1996. 342 p.
3. Christensen C. M. The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail. — Boston, MA, USA: Harvard Business School Press, 1997. 288 p.
4. Плын А. В., Плын В. Д. Towards a normalized economic mechanism based on E-services // Agris on-line Papers in Economics and Informatics, 2014. Vol. 6. Iss. 3. P. 39–49.
5. The new digital economy: How it will transform business. — Oxford Economics, 2015. 34 p.
6. G20 digital economy development and cooperation initiative // G20 Summit, 2016. <http://en.kremlin.ru/supplement/5111>.
7. Цифровая экономика Российской Федерации: Программа, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р.

8. *Ilyin A. V., Ilyin V. D.* The normalized economic mechanism in the digital environment // *Int. J. Open Information Technologies*, 2019. Vol. 7. Iss. 12. P. 77–83.
9. *Ильин В. Д.* Основания ситуационной информатизации. — М.: Наука, Физматлит, 1996. 180 с.
10. *Ильин В. Д., Гавриленко Ю. В., Ильин А. В., Макаров Е. М.* Математические средства ситуационной информатизации. — М.: Наука, Физматлит, 1996. 88 с.
11. *Ильин В. Д.* Символьное моделирование. — М.: Большая российская энциклопедия, 2018. [http://dev.bigenc.ru/technology\\_and\\_technique/text/4010980](http://dev.bigenc.ru/technology_and_technique/text/4010980).
12. *Ilyin A. V., Ilyin V. D.* The technologies of commodity-money circulation on the basis of personal and corporative e-banks // *Int. J. Open Information Technologies*, 2020. Vol. 8. Iss. 5. P. 81–84.
13. The Digital Twin. General Electric, 2018. [https://www.ge.com/digital/sites/default/files/The-Digital-Twin\\_Compressing-Time-to-Value-for-Digital-Industrial-Companies.pdf](https://www.ge.com/digital/sites/default/files/The-Digital-Twin_Compressing-Time-to-Value-for-Digital-Industrial-Companies.pdf).
14. *Ильин А. В., Ильин В. Д.* Информатизация управления статусным соперничеством. — М.: ИПИ РАН, 2013. 152 с.
15. *Ilyin A. V., Ilyin V. D.* Variational online budgeting taking into account the priorities of expense items // *Agris on-line Papers in Economics and Informatics*, 2016. Vol. 8. Iss. 3. P. 51–56.
16. *Куров Б. Н.* Сравнение эффективности алгоритмов управления с учетом точности данных и реализации решений // *Управление большими системами*, 2011. Вып. 34. С. 279–291.
17. *Ilyin A. V., Ilyin V. D.* Solving situationally definable linear problems of resource planning: A review of updated technology // *Информационные технологии и вычислительные системы*, 2019. № 3. P. 99–106.
18. *Ilyin A. V., Ilyin V. D.* E-trade with direct lending and normalized money // *Agris on-line Papers in Economics and Informatics*, 2015. Vol. 7. Iss. 4. P. 57–64.

*Поступила в редакцию 12.07.20*

---

---

## SITUATIONAL MODEL OF UNIVERSAL AGREEMENT IN A DIGITAL ENVIRONMENT

*A. V. Ilyin<sup>1</sup> and V. D. Ilyin<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>State Research Institute of Aviation Systems, 7 Viktorenko Str., Moscow 125319, Russian Federation

<sup>2</sup>A. A. Dorodnicyn Computing Center, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 40 Vavilova Str., Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** The situational model of universal agreement programmatically implementable in the digital environment (UDE-agreement) is considered as a part of the methodological support for implementation of contractual relations.



Universal agreement in the digital environment may reflect property relations (bank agreement, trade agreement, etc.), labor relations (employment contract, work contract, etc.), and any other relations of the contracting parties (individuals and/or legal entities). Universal agreement in the digital environment is a system of mandatory and orienting requirements that determine the behavior and statuses of the parties. The fulfilling of the UDE-agreement is represented by the situations determined in the agreement. Situation-specific data are supplied by digital twins serving the UDE-agreement. These data are transmitted to the input of the UDE-agreement software running on computer devices (smartphones, laptops, etc.) of the parties. The situational model of UDE-agreement is based on the idea of a smart contract proposed by Nick Szabo and the methodology of situational informatization developed by the authors. The model can be applied in development of technologies for arbitrary contractual relations implementable in the digital environment.

**Keywords:** universal agreement in the digital environment (UDE-agreement); situational model of the UDE-agreement; technology of contractual relations; smart contract; digital twins serving the UDE-agreement

**DOI:** 10.14357/08696527200314

## References

1. Szabo, N. 1997. Formalizing and securing relationships on public networks. *First Monday*. Available at: <https://firstmonday.org/article/view/548/469> (accessed July 5, 2020).
2. Tapscott, D. 1996. *The digital economy: Promise and peril in the age of networked intelligence*. New York, NY: McGraw-Hill. 342 p.
3. Christensen, C. M. 1997. *The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail*. Boston, MA: Harvard Business School Press. 288 p.
4. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2014. Towards a normalized economic mechanism based on E-services. *Agris on-line Papers in Economics and Informatics* 6(3):39–49.
5. *The new digital economy: How it will transform business*. 2015. Oxford Economics. 34 p. Available at: <http://www.pwc.com/mt/en/publications/assets/thenew-digitaleconomy.pdf> (accessed July 5, 2020).
6. G20 digital economy development and cooperation initiative. 2016. *G20 Summit*. Available at: <http://en.kremlin.ru/supplement/5111> (accessed July 5, 2020).
7. Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii: Programma, utverzhennaya rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii No.1632-r [Digital economy of the Russian Federation: Program Approved by Order No.1632-r of the Government of the Russian Federation]. 28.07.2017. Available at: <http://d-russia.ru/wpcontent/uploads/2017/07/programma-tsfrov-econ.pdf> (accessed July 5, 2020).
8. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2019. The normalized economic mechanism in the digital environment. *Int. J. Open Information Technologies* 7(12):77–83.
9. Ilyin, V. D. 1996. *Osnovaniya situatsionnoy informatizatsii* [Fundamentals of situational informatization]. Moscow: Nauka, Fizmatlit. 180 p.

10. Ilyin, V. D., Yu. V. Gavrilenko, A. V. Ilyin, and E. M. Makarov. 1996. *Matematicheskie sredstva situatsionnoy informatizatsii* [Mathematical means of situational informatization]. Moscow: Nauka, Fizmatlit. 88 p.
11. Ilyin, V. D. 2018. *Simvol'noe modelirovanie* [Symbolic modeling]. Moscow: Great Russian Encyclopedia. Available at: [http://dev.bigenc.ru/technology and technique/text/4010980](http://dev.bigenc.ru/technology-and-technique/text/4010980) (accessed July 5, 2020).
12. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2020. The technologies of commodity-money circulation on the basis of personal and corporate e-banks. *Int. J. Open Information Technologies* 8(5):81–84.
13. The Digital Twin. 2018. General Electric. Available at: [https://www.ge.com/digital/sites/default/files/TheDigital-Twin\\_Compressing-Time-to-Value-for-Digital-Industrial-Companies.pdf](https://www.ge.com/digital/sites/default/files/TheDigital-Twin_Compressing-Time-to-Value-for-Digital-Industrial-Companies.pdf) (accessed March 5, 2020).
14. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2013. *Informatizatsiya upravleniya statusnym Sopernichestvom* [Informatization of status rivalry governance]. Moscow: IPI RAN. 152 p.
15. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2016. Variational online budgeting taking into account the priorities of expense items. *Agris on-line Papers in Economics and Informatics* 8(3):51–56.
16. Kurov, B. N. 2011. Sravnenie effektivnosti algoritmov upravleniya s uchetom tochnosti dannykh i realizatsii resheniy [Comparison of the effectiveness of control algorithms taking into account the accuracy of data and implementation of solutions]. *Upravlenie bol'shimi sistemami* [Large-Scale Systems Control] 34:279–291.
17. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2019. Solving situationally definable linear problems of resource planning: A review of updated technology. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy* [J. Information Technologies Computing Systems] 3:99–106.
18. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2015. E-trade with direct lending and normalized money. *Agris on-line Papers in Economics and Informatics* 7(4):57–64.

Received July 12, 2020

## Contributors

**Ilyin Alexander V.** (b. 1975) — Candidate of Science (PhD) in technology, leading scientist, State Research Institute of Aviation Systems, 7 Viktorenko Str., Moscow 125319, Russian Federation; [ilyin@res-plan.com](mailto:ilyin@res-plan.com)

**Ilyin Vladimir D.** (b. 1937) — Doctor of Science in technology, professor, leading scientist, A. A. Dorodnicyn Computing Center, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 40 Vavilova Str., Moscow 119333, Russian Federation; [vdilyin@yandex.ru](mailto:vdilyin@yandex.ru)

## БАЗИСНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И «ПРОМЫШЛЕННЫЕ РЕВОЛЮЦИИ»: КАКОВА ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ?

С. Н. Гринченко<sup>1</sup>

**Аннотация:** На базе информатико-кибернетической модели (ИКМ) самоуправляющейся иерархо-сетевой системы Человечества установлено, что: (а) первая промышленная революция (ПР) по К. Швабу (1760–1840 гг.) — это ПР в общепринятом смысле этого термина и одновременно системная, иницируемая базисной информационной технологией (БИТ) **тиражирования текстов** революция (1806 г.) производственных и социально-инфраструктурных технологий; (б) вторая ПР по К. Швабу (конец XIX – начало XX вв.) не вписывается в модельную схему датировки революций системных технологий в истории Человечества во всей их целостности. Ее, в отсутствие соответствующей иницирующей БИТ, следует трактовать как вторую фазу (знаменующую начало «века электричества») первой ПР (знаменующей начало «века пара»). Совокупность первой и второй ПР определяет формирование «мира силовых машин» в самоуправляющейся системе Человечества; (в) третья ПР по К. Швабу (1960-е гг.) — это системная, иницируемая БИТ **локальных компьютеров** революция (1970 г.) производственных и социально-инфраструктурных технологий; (г) четвертая ПР по К. Швабу (рубеж нового тысячелетия) — это системная, иницируемая БИТ **телекоммуникаций** революция (2003 г.) производственных и социально-инфраструктурных технологий. Совокупность третьей и четвертой ПР определяет формирование «мира интеллектуальных машин», или мира «искусственного интеллекта». Таким образом, указанная взаимосвязь БИТ и ПР состоит в том, что первые иницируют вторые — с некоторой инерционностью.

**Ключевые слова:** базисные информационные технологии; производственные технологии; социально-инфраструктурные технологии; промышленные революции; К. Шваб; информатико-кибернетическая модель; самоуправляющаяся иерархо-сетевая система Человечества

**DOI:** 10.14357/08696527200315

Представление об истории как о *едином* процессе развития человечества активно обсуждается научным сообществом в самых различных ракурсах [1–6]. Мультидисциплинарные подходы, в рамках которых даются расчетные числовые оценки основных моментов этого процесса, развиваются в контексте *количественной истории*, которая «вносит упорядоченность в калейдоскоп фактов, событий,

---

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, sgrinchenko@ipiran.ru

теорий. Она во многом формирует мировоззрение» [7]. В частности, это объединение «фибоначчиевой» модели хронологии и периодизации археологической эпохи (предложенной Ю. Л. Шаповой) и авторской ИКМ самоуправляющейся иерархо-сетевой системы Человечества (точнее, хронологической шкалы ее лично-производственно-социальной метаэволюции<sup>1</sup>) [8, 9]. Адекватность полученных результатов эмпирическим данным палеонтологов, археологов и историков продемонстрированы, например, в монографиях [10, 11].

Согласно ИКМ, происходящие в ходе метаэволюции системы Человечества системные перевороты теснейшим образом взаимосвязаны и определяют кардинальные изменения в развитии: (а) БИТ; (б) производственных технологий (ПТ); (в) пар «социальные технологии – инфраструктурные ПТ» (СТ/ИПТ) (см. рисунок, на котором восходящие стрелки, имеющие структуру «многие — к одному», отражают поисковую активность представителей соответствующих ярусов в иерархии; нисходящие сплошные стрелки, имеющие структуру «один — ко многим», отражают целевые критерии поисковой оптимизации системной энергетики; нисходящие пунктирные стрелки, имеющие структуру «один — ко многим», отражают системную память лично-производственно-социального: результат адаптивных влияний представителей вышележащих иерархических ярусов на структуру и поведение вложенных в них нижележащих). Очевидно, что данные системные перевороты инициируют подобные скачки формирования и усложнения иных специальных технологий: экономических, гуманитарных, образовательных, научно-исследовательских, обеспечения безопасности и т. п.

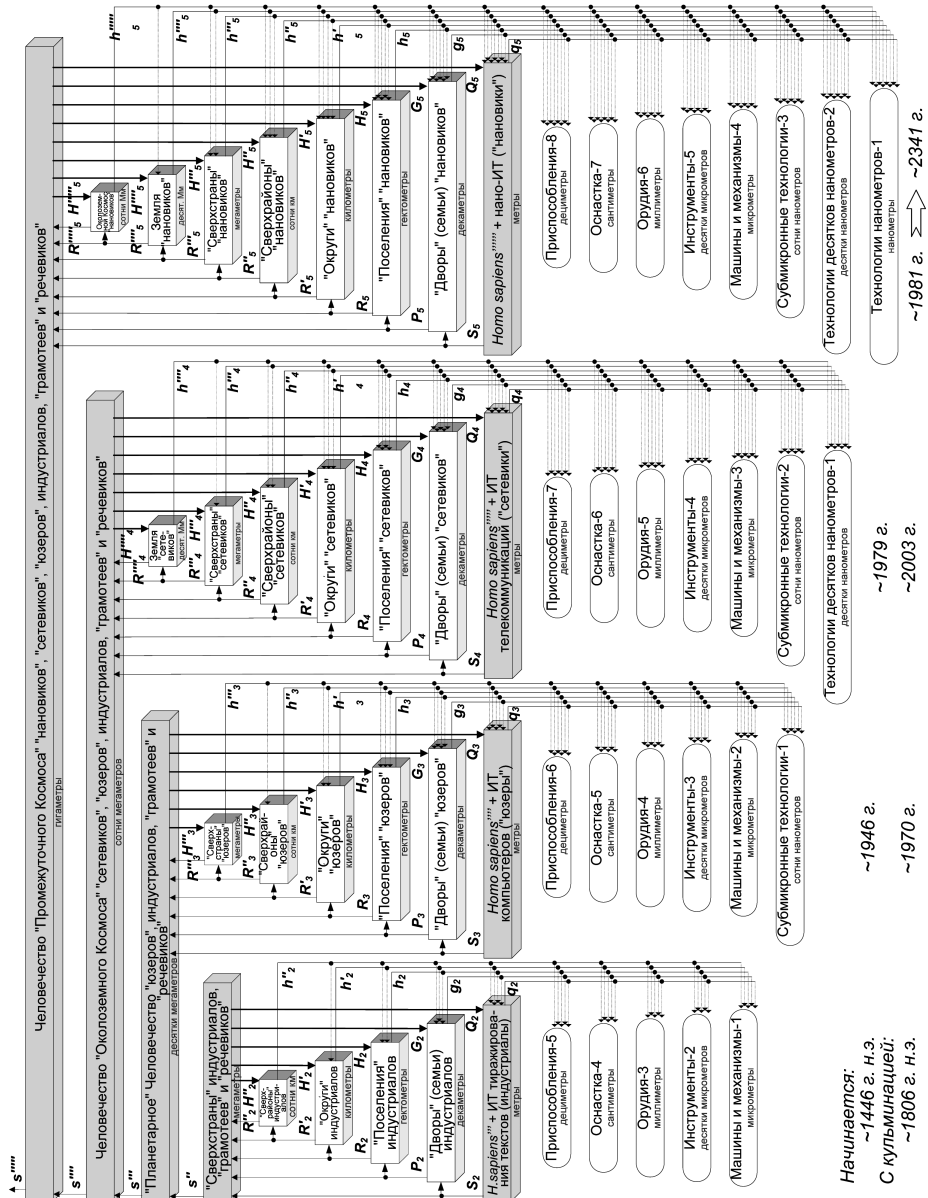
Системной особенностью указанных мультидисциплинарных дедуктивных моделей [12] является тот факт, что при сопоставлении с имеющимися эмпирическими оценками тех или иных исторических событий их хронологические числовые ряды можно двигать «вправо-влево» по временной шкале лишь как целое — подгонка *каждой отдельной* модельной датировки под эмпирическую оценку исключена! Таким образом, *вся* совокупность модельных датировок должна удовлетворительно (как минимум) описывать *всю* совокупность соответствующих исторических событий. Если же последние существенно «выпадают» из модельного ряда, то это служит основанием для углубленного анализа причин такого несовпадения.

Сравним имеющиеся в литературе результаты модельного и эмпирического подходов к датировке ПР по К. Швабу в историческом развитии Человечества. Так, в монографии [6] приводится классификация ПР в истории человечества (см. таблицу, столбцы 1 и 2), а в монографии [9] — классификация кардинальных моментов в системном развитии БИТ, ПТ и СТ/ИПТ (столбцы 3 и 4).

Приведенные в таблице (столбец 3) расчетные датировки соответствуют хронологической шкале ИКМ самоуправляющейся иерархо-сетевой системы Человечества, опирающейся на геометрическую прогрессию со знаменателем  $e^e =$

---

<sup>1</sup>Метаэволюция — процесс последовательного наращивания числа уровней/ярусов иерархической системы в ходе ее формирования как таковой.



Фрагмент схемы самоуправляющейся иерархно-сетевой системы Человечества

## Сравнение модельного и эмпирического подходов к исторической датировке

По К. Швабу, 2018		По С. Н. Гринченко, 2007	
Датировка (эмпирические оценки)	Содержательная трактовка события	Датировка (расчетные оценки)	Старт и кульминация скорости развития БИТ. Иницируемая ею ПР
...	...	...	...
—	—	123 тыс. лет назад	Старт БИТ речи/языка
—	—	40,3 тыс. лет назад	Кульминация БИТ речи/языка. Верхнепалеолитическая революция
Десять тысяч лет назад	Аграрная революция	—	—
—	—	8100 лет назад	Старт БИТ письменности/чтения
—	—	670 лет до н. э.	Кульминация БИТ письменности/чтения. Революция «осевого времени»
—	—	1446 г.	Старт БИТ тиражирования текстов
<b>1760–1840 гг.</b>	<b>Первая ПР</b>	<b>1806 г.</b>	Кульминация БИТ тиражирования текстов. <b>Промышленная революция</b>
Конец XIX – начало XX вв.	<b>Вторая ПР</b>	—	—
—	—	1946 г.	Старт БИТ компьютеров
<b>1960-е гг.</b>	<b>Третья ПР</b>	<b>1970 г.</b>	Кульминация БИТ компьютеров: микро- процессорная <b>революция</b>
—	—	1979 г.	Старт БИТ телекоммуникаций
<b>Рубеж нового тысячелетия</b>	<b>Четвертая ПР</b>	<b>2003 г.</b>	Кульминация БИТ телекоммуникаций: телекоммуникационная/ «цифровая» <b>революция</b>
—	—	1981 г.	Старт перспективной нано-БИТ
—	—	2341 г. (прогноз)	Кульминация перспективной нано-БИТ: <b>революция нано-БИТ</b>
...	...	...	...

= 15,15426..., которую ранее выявили при изучении биологических систем А. В. Жирмунский и В. И. Кузьмин [13]. В частности, числовой ряд отрезков времени между стартами БИТ составляет: ... – 114 826 – 7577 – 500 лет – 33 – 2,2 – 0,14 года – ..., а числовой ряд запаздывания соответствующих кульминаций БИТ по отношению к их стартам: ... – 82 700 – 5431 – 360 лет – 24 – 24 года – 360 лет – ... соответственно (подробности см. в [9, 14]).

Сравнительный анализ содержания левой и правой половин таблицы позволяет констатировать следующее.

1. Налицо *более чем удовлетворительное совпадение* эмпирических датировок первой, третьей и четвертой ПР по К. Швабу с авторскими расчетными датировками кульминаций (пиков скорости их развития) соответствующих БИТ. Пусковым механизмом первой ПР стало появление задолго до этого, в расчетное по ИКМ время, БИТ тиражирования текстов, или книгопечатания.
2. Напротив, «вторая ПР» К. Шваба выпадает из равномерного (в логарифмическом масштабе) авторского модельного числового ряда, и на этом основании ее введение — в этом ранге! — представляется неоправданным. Роль электричества и конвейера весьма велика, но до уровня *системной* ПР, увы, не дотягивает — фактически, это инерционное продолжение первой ПР, ее вторая фаза, открывающая «век электричества». Поскольку первая ее фаза — это открытие «века пара», для всего этого периода напрашивается общее наименование «мир силовых машин». С последующим переходом Человечества — в середине XX века — в «мир интеллектуальных машин» или мир «искусственного интеллекта»!
3. О дальнейшей перспективе: когда ожидается следующая ПР, и какая БИТ ее будет инициировать [15, 16]? На этот вопрос также дает (гипотетический) ответ модельный подход на базе ИКМ: это нано-БИТ, начало развития которой ~ 1981 г., а пик скорости формирования прогнозируется около 2341 г., с сопряженными нано-ПТ и гига-СТ/ИПТ.

## Заключение

Взаимосвязь между последовательностями и датами возникновения новых БИТ и новых ПР налицо: она маркирована математически и прослеживается эмпирически. Ее содержательный смысл: БИТ инициируют ПР — с некоторой инерционностью.

Кроме того, сформированное на *качественном эмпирическом* уровне мнение К. Шваба относительно того, что сегодня «отсутствует последовательная, позитивная и единая концепция на глобальном уровне, которая могла бы определить возможности и вызовы четвертой ПР» [6, с. 12], на фоне представленного *количественного модельного* анализа указанных системных процессов представляется не вполне оправданным.

## Литература

1. *Quigley C.* The evolution of civilizations. — 2nd ed. — Liberty Fund Inc., 1979. 420 p.
2. *Семенов Ю. И.* Всемирная история как единый процесс развития человечества во времени и пространстве // *Философия и общество*, 1997. № 1. С. 156–217.

3. Сахаров А. Н. История человечества едина. Относительно // История Человечества. Том 1. Доисторические времена и начала цивилизации / Под ред. З. Я. Де Лаата. — Магистр-Пресс, 2003. С. VIII–X.
4. Тоффлер Э. Третья волна / Пер. с англ. — М.: АСТ, 2004. 781 с. (*Toffler A. The third wave: The classic study of tomorrow.* — New York, NY, USA: Bantam Books, 1989. 545 p.).
5. Коротаев А. В., Халтурина Д. А., Малков А. С., Божевольнов Ю. В., Кобзева С. В., Зинькина Ю. В. Законы истории: Математическое моделирование и прогнозирование мирового и регионального развития. — 3-е изд. — М.: УРСС, 2010. 344 с.
6. Шваб К. Четвертая промышленная революция / Пер. с англ. — М.: Эксмо-Пресс, 2018. 288 с. (*Schwab K. The fourth industrial revolution.* — New York, NY, USA: Crown Publishing Group, 2016. 192 p.)
7. Иванов В. В., Малинецкий Г. Г., Сиренко С. Н. Новая индустриализация союзного государства и образовательная стратегия // Стратегические приоритеты, 2018. № 4(20). С. 102–135.
8. Щапова Ю. Л. Археологическая эпоха: хронология, периодизация, теория, модель. — М.: КомКнига, 2005. 192 с.
9. Гринченко С. Н. Метаэволюция (систем неживой, живой и социально-технологической природы). — М.: ИПИРАН, 2007. 456 с.
10. Щапова Ю. Л., Гринченко С. Н. Введение в теорию археологической эпохи: числовое моделирование и логарифмические шкалы пространственно-временных координат. — М.: Исторический факультет Моск. ун-та; ФИЦ ИУ РАН, 2017. 236 с.
11. Щапова Ю. Л., Гринченко С. Н., Кокорина Ю. Г. Информатико-кибернетическое и математическое моделирование археологической эпохи: логико-понятийный аппарат. — М.: ФИЦ ИУ РАН, 2019. 136 с.
12. Гринченко С. Н. Моделирование: индуктивное и дедуктивное // Проблемы исторического познания. — М.: ИВИ РАН, 2015. С. 95–101.
13. Жирмунский А. В., Кузьмин В. И. Критические уровни в процессах развития биологических систем. — М.: Наука, 1982. 179 с.
14. Гринченко С. Н. О генезисе информационного общества: информатико-кибернетическое модельное представление // Информатика и её применения, 2019. Т. 13. Вып. 2. С. 100–108.
15. Grinchenko S. N., Shchapova Y. L. Genesis of information technologies as a marker of the genesis of hierarchies in the humankind's system: A model representation // Modern information technology and IT education / Eds. V. Sukhomlin, E. Zubareva. — Communications in computer and information science book ser. — Cham: Springer, 2020. Vol. 1201. P. 238–249.
16. Гринченко С. Н., Щапова Ю. Л. Генезис информационных технологий как маркер генезиса иерархий в системе Человечества: модельное представление // Современные информационные технологии и ИТ-образование, 2019. Т. 15. № 2. С. 421–430.

Поступила в редакцию 14.02.20



## BASIC INFORMATION TECHNOLOGIES AND “INDUSTRIAL REVOLUTIONS”: WHAT IS THEIR RELATIONSHIP?

*S. N. Grinchenko*

Institute of Informatics Problems of the Federal Research Center “Informatics and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** Based on the informatics-cybernetic model of the self-controlling hierarchical-network system of humankind, it was stated that: (a) the first industrial revolution (IR) by K. Schwab (1760–1840) is an IR in the generally accepted sense of this term and at the same time, system initiated by basic information technology (BIT) of the replication of texts, revolution (1806) of production and social infrastructure technologies; (b) the second IR according to K. Schwab (end of the 19th – beginning of the 20th centuries) does not fit into the model diagram of the dating of system technology revolutions in the history of humankind in its entirety. It, in the absence of an appropriate initiating BIT, should be interpreted as the second phase (marking the beginning of the “century of electricity”) of the first IR (marking the beginning of the “century of steam”). The totality of the first and second IR determines the formation of “the world of power machines” in the self-controlling system of humankind; (c) the third IR according to K. Schwab (1960s) is a systemic, initiated by BIT of local computers, revolution (1970) of production and social infrastructure technologies; and (d) the fourth IR according to K. Schwab (“the frontier of the new millennium”) is a system revolution initiated by BIT of telecommunications (2003) of production and socioinfrastructural technologies. The combination of the third and fourth IR determines the formation of “the world of intelligent machines” or “the world of artificial intelligence.” Thus, the indicated relationship between BIT and IR is that the former initiates the latter with some inertia.

**Keywords:** basic information technologies; production technologies; social and infrastructural technologies; industrial revolutions; K. Schwab; informatics-cybernetic model; self-controlling hierarchical-network system of humankind

**DOI:** 10.14357/08696527200315

### References

1. Quigley, C. 1979. *The evolution of civilizations*. 2nd ed. Liberty Fund Inc. 420 p.
2. Semenov, Yu. I. 1997. Vsemirnaya istoriya kak edinyy protsess razvitiya chelovechestva vo vremeni i prostranstve [World history as a single process of Humankind’s development in time and space]. *Filosofiya i obshchestvo* [Philosophy and Society] 1:156–217.
3. Sakharov, A. N. 2003. Istoriya chelovechestva edina. Otnositel’no [The history of humankind is one. Relatively]. *Istoriya Chelovechestva: doistoricheskie vremena i nachala*

- tsivilizatsii* [History of humankind: Prehistoric times and the beginnings of civilization]. Ed. Z. Ya. De Laat. Magister-Press. 1:VIII–X.
4. Toffler, A. 1989. *The third wave: The classic study of tomorrow*. New York, NY: Bantam Books. 545 p.
  5. Korotaev, A. V., D. A. Khalturina, A. S. Malkov, Yu. V. Bozhevol'nov, S. V. Kobzeva, and Yu. V. Zin'kina. 2010. *Zakony istorii: Matematicheskoe modelirovanie i prognozirovanie mirovogo i regional'nogo razvitiya* [Laws of history: Mathematical modeling and forecasting of world and regional development]. 3d ed. Moscow: URSS. 344 p.
  6. Schwab, K. 2016. *The fourth industrial revolution*. New York, NY: Crown Publishing Group. 192 p.
  7. Ivanov, V. V., G. G. Malinetsky, and S. N. Sirenko. 2018. Novaya industrializatsiya soyuznogo gosudarstva i obrazovatel'naya strategiya [New union state industrialization and educational strategy]. *Strategicheskie priority* [Strategic Priorities] 4(20):102–135.
  8. Shchapova, Y. L. 2005. *Arkheologicheskaya epokha: khronologiya, periodizatsiya, teoriya, model'* [Archaeological epoch: Chronology, periodization, theory, model]. Moscow: KomKniga. 192 p.
  9. Grinchenko, S. N. 2007. *Metaevolyutsiya (sistem nezhyvoy, zhivoy i sotsial'no-tekhnologicheskoy prirody)* [Metaevolution (of inanimate, animate, and socio-technological nature systems)]. Moscow: IPIRAN. 456 p.
  10. Shchapova, Y. L., and S. N. Grinchenko. 2017. *Vvedenie v teoriyu arkheologicheskoy epokhi: chislovoe modelirovanie i logarifmicheskie shkaly prostranstvenno-vremennykh koordinat* [Introduction to the theory of the archaeological epoch: Numerical modeling and logarithmic scales of space–time coordinates]. Moscow: Faculty of History MSU, FRC CSC RAS. 236 p.
  11. Shchapova, Yu. L., S. N. Grinchenko, and Yu. G. Kokorina. 2019. *Informatiko-kiberneticheskoe i matematicheskoe modelirovanie arkheologicheskoy epokhi: logiko-ponyatiynyy apparat* [Informatics-cybernetic and mathematical modeling of the archaeological epoch: Logical-conceptual apparatus]. Moscow: FRC CSC RAS. 136 p.
  12. Grinchenko, S. N. 2015. Modelirovanie: induktivnoe i deduktivnoe [Modeling: Inductive and deductive]. *Problemy istoricheskogo poznaniya* [Problems of historical knowledge]. Moscow. 95–101.
  13. Zhirmunskiy, A. V., and V. I. Kuz'min. 1982. *Kriticheskie urovni v protsessakh razvitiya biologicheskikh sistem* [Critical levels in the development of biological systems]. Moscow: Nauka. 179 p.
  14. Grinchenko, S. N. 2019. O genezise informatsionnogo obshchestva: informatiko-kiberneticheskoe model'noe predstavlenie [On the genesis of the information society: Informatics-cybernetic model representation]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 13(2):100–108.
  15. Grinchenko, S. N., and Yu. L. Shchapova. 2019. Genezis informatsionnykh tekhnologiy kak marker genezisa ierarkhiy v sisteme Chelovechestva: model'noe predstavlenie [Genesis of information technologies as a marker of the genesis of hierarchies in the humankind's system: A model representation]. *Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii i IT-obrazovanie* [Modern Information Technologies and IT-Education] 15(2):421–430.

16. Grinchenko, S. N., and Y. L. Shchapova. 2020. Genesis of information technologies as a marker of the genesis of hierarchies in the humankind’s system: A model representation. *Modern information technology and IT education*. Eds. V. Sukhomlin and E. Zubareva. Communications in computer and information science book ser. Cham: Springer. 1201:238–249.

*Received February 14, 2020*

## **Contributor**

**Grinchenko Sergey N.** (b. 1946) — Doctor of Science in technology, professor, principal scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; sgrinchenko@ipiran.ru

---

# ИСТОРИЯ. ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ. СОБЫТИЯ

---

## СТОХАСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

(к восьмидесятилетию заслуженного деятеля науки  
Российской Федерации И. Н. Сеницына)



### 1 Введение

Игорь Николаевич Сеницын, профессор, доктор технических наук, — выдающийся ученый в области прикладной механики и управления, прикладной математики и информатики, основатель научной школы в области стохастических информационных технологий (ИТ) и систем автоматизации, автор свыше

600 научных трудов, 60 монографий и книг и 30 изобретений. Имеет большой опыт работы в промышленности и высших технических учебных заведениях.

Игорь Николаевич Синицын родился 14 августа 1940 г. в Москве. Окончил английскую спецшколу № 1 в Сокольниках с серебряной медалью. Высшее образование получил в МВТУ им. Н. Э. Баумана и МГУ им. М. В. Ломоносова. Одновременно с учебой в МГУ начал работать в известном ракетно-космическом научно-исследовательском институте, ныне Институте прикладной механики им. В. И. Кузнецова (НИИ ПМ). В 1965 г. защитил кандидатскую диссертацию в МГУ, а в 1983 г. — докторскую в НИИ ПМ.

В период 1960–1983 гг. участвовал в разработке и испытаниях гироскопических командных приборов и информационно-измерительных систем, вел инженерную и научно-исследовательскую деятельность, совмещал ее с педагогической деятельностью сначала в МВТУ им. Н. Э. Баумана, затем в Военно-воздушной инженерной академии им. профессора Н. Е. Жуковского (ВВИА). В период 1974–1983 гг. И. Н. Синицын работал на факультете авиационного вооружения ВВИА, где занимался подготовкой авиационных инженеров и первых космонавтов, принимал участие в разработке и испытаниях специальной техники.

В 1983 г. И. Н. Синицын был переведен во вновь организованный Институт проблем информатики АН СССР (впоследствии ФИЦ ИУ РАН) для работ в области специальных системных применений ЭВМ новых поколений. В настоящее время И. Н. Синицын является научным руководителем направления «Теоретико-вероятностные и статистические методы моделирования» в ФИЦ ИУ РАН. В разные годы И. Н. Синицын был заместителем генерального конструктора, заместителем главного конструктора и главным конструктором ряда автоматизированных и информационных систем специального назначения.

И. Н. Синицын много сил отдает подготовке научно-педагогических кадров. С 1987 г. И. Н. Синицын — профессор МАИ, читает спецкурсы «Стохастическая динамика, надежность и безопасность систем». Под его руководством выполнено свыше 30 кандидатских и докторских диссертаций. В настоящее время он является заместителем председателя ученого совета ИПИ РАН и руководителем специальной секции, состоит членом трех диссертационных советов (ФИЦ ИУ РАН и НИИ АА им. акад. В. С. Семенихина), членом экспертного совета РФФИ, Российского научного фонда, заместителем главного редактора журнала «Системы высокой доступности», а также членом редколлегий ряда отечественных и международных журналов: «Информатика и её применения», «Системы и средства информатики», «Pattern Recognition and Image Analysis», «Наукоемкие технологии» и др.

## 2 Основные направления работ

Основные научные труды И. Н. Синицына относятся к следующим областям:

- статистическая теория ИТ и автоматизированных систем;

- прецизионные информационно-измерительные технологии, системы для научных исследований и системы специального назначения;
- информационно-аналитические технологии и системы поддержки принятия решений для информатизации высших органов государственной власти РФ, федеральных ведомств;
- теория систем интегрированной логистической поддержки (ИЛП), организационно-техничко-экономических систем (ОТЭС) и др.

**В области статистической теории ИТ и автоматизированных систем** И. Н. Сеницыну принадлежат фундаментальные результаты по теории канонических и обобщенных канонических представлений случайных функций в сложных стохастических системах (СтС), в том числе с распределенными параметрами и случайной структурой (1964–1983). Методы теории СтС им распространены на СтС, описываемые дифференциальными уравнениями со случайными функциями состояния, уравнениями в гильбертовых и банаховых пространствах. Им разработаны эффективные вычислительные методы нахождения распределений, основанные на параметризации, позволяющие радикально сократить число уравнений для параметров распределений, а также новые вычислительные методы статистического анализа и синтеза, допускающие эффективное оценивание точности и ориентированные на параллельные статистические вычисления. И. Н. Сеницын разработал методы нахождения точных выражений для распределений с инвариантной мерой, обнаружил ряд новых классов точных распределений (1979–1993). Важные результаты получены И. Н. Сеницыным по теоретико-групповым методам анализа и синтеза автоматизированных систем (1983–2000). Им разработана статистическая теория катастрофоустойчивости автоматизированных систем высокой точности и доступности. В 2005–2007 гг. И. Н. Сеницын разработал теорию сингулярных СтС. В разные годы он возвращался к вопросам анализа и синтеза эредитарных СтС. В большой серии статей И. Н. Сеницын разработал методы и алгоритмы статистической линеаризации сложных нелинейностей, описываемых дробно-рациональными, иррациональными и основными специальными функциями. Им получены важные результаты в области СтС на многообразиях, в том числе круговых, сферических, цилиндрических и др.

В период 2016–2020 гг. под руководством И. Н. Сеницына получены важные результаты в области суб- и условно-оптимального оценивания процессов в СтС на многообразиях, в эредитарных СтС, а также теории условно-оптимального управления по различным критериям.

И. Н. Сеницын — основоположник стохастических ИТ оперативной обработки информации, контроля и мониторинга автоматизированных систем, а также стохастического управления информационными активами. Под его руководством и при непосредственном участии созданы инструментальные средства для статистического анализа, моделирования и синтеза систем: проблемно-ориентированные диалоговые системы и библиотеки «СтС-Анализ» (1989–1990,

2004–2007), «СтС-Фильтр» (1991, 2004–2007), «СтС-Модель» (1993, 2007), Nalib (1991–1993), TransStatLib (1991–1993), ASAP-ALPHA-97, «Безопасность и надежность» (1991–1995), «Здоровье РФ» (1992–1996, 1999, 2003) и др. Им разработаны эффективные символьные методы анализа и синтеза СтС. В 2005–2007 гг. создано и внедрено специализированное программное обеспечение «СтС-СМА» и «СтС-ИТКР» (2007–2010).

В последние годы И. Н. Сеницын разработал теорию вейвлет-канонических разложений. Под его руководством создано программное обеспечение для анализа точности сложных СтС, функционирующих в условиях вибраций и ударов.

Его книги в области теории СтС — «Стохастические дифференциальные системы. Анализ и фильтрация» (1985, 1987, 1990), «Лекции по функциональному анализу и его приложениям» (1999, 2018), «Теория стохастических систем» (2000, 2001, 2004) (совместно с В. С. Пугачёвым), а также «Фильтры Калмана и Пугачёва» (2005, 2007), «Канонические представления случайных функций и их применение в задачах компьютерной поддержки научных исследований» (2009) и «Лекции по нормальной и эллипсоидальной аппроксимации распределений в стохастических системах» (2013, совместно с В. И. Сеницыным) — широко известны в России и за рубежом.

**В области прецизионных информационно-измерительных технологий, систем специального назначения и автоматизированных систем для научных исследований** И. Н. Сеницыным разработана теория ряда информационно-измерительных систем в условиях случайных динамических возмущений, открыт ряд новых статистических динамических эффектов (выбросы разных типов, флуктуационные уходы, накопление возмущений и др.). Ему принадлежат первые работы по статистической динамике командно-измерительных гироскопических приборов, акселерометров, градиентометров и метрологических систем высочайшей точности, информационной теории и методам измерений, калибровок, ускоренных испытаний в экстремальных условиях, а также статистического и полунатурного моделирования. Под его руководством и при его непосредственном участии разработано и внедрено несколько поколений серийных систем (в том числе со встроенными устройствами для снижения возмущений), обладающих уникальными характеристиками (1959–1983). И. Н. Сеницын принимал непосредственное участие в определении технической политики в области новой специальной техники (1979–1983).

С именем И. Н. Сеницына связано создание концепций автоматизации научных исследований в СССР, в первую очередь основанных на средствах массовой вычислительной техники (1983–1988). Под руководством и при участии И. Н. Сеницына сформулированы принципы создания микровидеосистем, создан ряд базовых систем. Они внедрены в МВД и Минздраве СССР (1983–1988). Полученные результаты получили развитие в автоматизированных системах метрологического обеспечения, видеоконтроля и биометрических системах. Под руководством И. Н. Сеницына разработаны принципы построения и архитектуры вычислительных систем командных пунктов, а также новые быстрые

методы и алгоритмы обработки изображений, обладающих сильной пространственно-временной деформацией. В интересах автоматизации астрометрических научных исследований был создан комплекс моделей, алгоритмов и специального программного обеспечения и информационные ресурсы для нестандартной интегрированной обработки параметров вращения Земли по фундаментальной проблеме «Статистическая динамика вращения Земли». В 2005–2010 гг. совместно с Ю. Г. Марковым и Л. В. Рыхловой впервые обнаружен ряд новых эффектов (автоколебания полюса Земли на чандлеровской частоте, параметрическая стабилизация чандлеровских колебаний, нелинейные флуктуационные дрейфы неустойчивости вращения Земли и др.).

**В области информационно-аналитических технологий и автоматизированных систем поддержки принятия решений для информатизации высших органов государственной власти, федеральных ведомств и др.** разработан и внедрен ряд базовых ИТ (обработка информации от независимых источников, формирование и хранение больших баз электронных образов, управление информационными активами и др.). Сформулированы принципы и разработаны базовые системотехнические решения для ряда крупномасштабных автоматизированных информационных и информационно-управляющих систем специального назначения высокой точности и доступности. В период 1999–2010 гг. в рамках работ, возглавляемых С. В. Емельяновым и С. К. Коровиным, И. Н. Сеницын разработал теорию систем высокой доступности с новыми видами стохастической обратной связи. В последние годы под руководством И. Н. Сеницына ведутся работы в области *стохастических когнитивных ИТ моделирования, обучения и поддержки принятия решений*.

**В области теории ИЛП и ОТЭС** И. Н. Сеницыным совместно с А. С. Шаламовым в период 2009–2020 гг. создана научная школа, опубликовано свыше 50 работ, включая монографию «Лекции по теории систем интегрированной логистической поддержки» (2012, 2019) и главы в книгах: глава «Probabilistic modeling, estimation and control for CALS organization-technical-economic systems» в книге «Probability, combinatorics and control» (2019); глава «Development of ellipsoidal analysis and filtering methods for nonlinear control stochastic systems» в книге «Automation and control. Control stochastic systems» (2020).

### **3 Развитие стохастических CALS-технологий и организационно-техничко-экономических систем**

Как известно, ИЛП — это система научно-исследовательских, проектно-конструкторских, организационно-технических, производственных и информационно-управленческих технологий, средств и практических мероприятий, используемых (применяемых) в течение жизненного цикла (ЖЦ) изделий наукоемкой продукции (ИНП), направленных на достижение минимальных затрат



по обслуживанию и ремонту ИПП при обеспечении требуемых характеристик и показателей функционального качества и технической готовности продукции при эксплуатации. Новые научные подходы позволяют кардинально реформировать традиционные системы создания и эксплуатации ИПП путем внедрения методов рационального и, по возможности, оптимального управления процессами расходования временных, материальных, трудовых и других ресурсов на всех стадиях ЖЦ изделий (ЖЦИ) по критериям экономической целесообразности и эффективности.

Первыми на этот путь вступили западные страны, когда в 1990-х гг. были резко сокращены бюджеты военных ведомств, что вынудило их искать возможности экономии финансовых ресурсов, сохраняя при этом основные показатели обороноспособности. Были выработаны новые стандарты по созданию вооружений и военной техники (ВВТ), обеспечивающие снижение стоимости ЖЦИ. Контракты, заключаемые с поставщиками ВВТ, стали содержать требования по соблюдению правил и процедур, обеспечивающих заданные характеристики и показатели качества и экономичности продукции. В настоящее время на этот путь переводятся и отрасли экономики гражданского назначения. В основу серии этих международных стандартов легла CALS-методология как первооснова современных глобальных интегрированных информационно-коммуникационных систем (CALS — Continuous Acquisition and Life cycle Support — интегрированная поддержка изделий) — непрерывная информационная поддержка поставок и ЖЦ. Эта методология позволяет создавать виртуальные предприятия (ВП) из фирм-участников ЖЦИ, интегрируя их на информационной основе.

С точки зрения создания, использования по назначению и обслуживания образцов техники новых поколений это стало революционным переворотом. Главным его эффектом оказалась реальная возможность параллельного, онлайн-проектирования не только элементов ИПП, когда разработчики могут находиться на разных континентах, но и системы его послепродажного обслуживания, чего раньше не было. В результате могут быть существенно сокращены сроки выхода продукции на рынок, что, естественно, влияет на стоимость этапа проектирования в сторону ее уменьшения. Кроме того, покупатель, включенный в систему ВП и имеющий определенный доступ к информационным ресурсам, получает возможность оценить гарантии выполнения его требований к качеству и стоимости продукции не только на стадии проектирования, но и на постпроизводственных стадиях. Все это дает основу для долговременного партнерства в рамках ВП, а также дополнительные социально-политические дивиденды странам-участникам подобных проектов, что существенно повышает конкурентные преимущества такой продукции на мировых рынках.

Основные принципы интеграции ВП изложены в стандартах MIL STD 1388 (США) и DEF STAN 00-60 (Великобритания). Двадцать третьего апреля 2010 г. взамен стандарта Def Stan 00-60 был введен в действие Def Stan 00-600 «Integrated Logistic Support. Requirements for MOD Projects» («Интегрированная логистическая поддержка. Требования к проектам министерства обороны»),

далее — стандарт 00-600. Стандарт 00-600 стал рамочным документом, определяющим концептуальные положения ИЛП. Основной смысл понятия ИЛП сводится к тому, что это инструмент управления стоимостью ЖЦИ при удовлетворении требований заказчика. Применение ИЛП поясняет другой документ — JSP-886 «The defence logistic support chain manual. Volume 7: Integrated logistic support» («Руководство по оборонной логистической цепочке поставок. Том 7: Интегрированная логистическая поддержка»). Этот документ, как и стандарт DEF STAN 00-60, тесно связан со спецификациями ASD (AeroSpace and Defense Industries Association of Europe — Европейской ассоциации аэрокосмической и оборонной промышленности):

- S1000D «International specification for technical publications utilizing a common source data base» («Международная спецификация на технические публикации, использующие общую исходную базу данных»);
- S2000M «International specification for material management» («Международная спецификация на организацию управления материально-техническим обеспечением»);
- S3000L «International procedure specification for logistics support analysis» («Международная спецификация на процедуры анализа логистической поддержки»);
- S4000M «International procedural handbook for developing scheduled maintenance program for military aircrafts» («Международное руководство по процедурам разработки программы планового технического обслуживания для военной авиатехники»).

В России также существуют нормативные документы в области информационной поддержки ЖЦИ. Однако по большей части это обработка переводов отдельных указанных зарубежных стандартов или изъятий из них.

В промышленно развитых странах международный стандарт 00-600 пока только продекларирован и в основных положениях мало чем отличается от своего аналога, далее будем по-прежнему опираться на выбранный ранее в качестве общеевропейского стандарта DEF STAN 00-60. Его основой служит достаточно статичная технико-экономическая модель комплексной системы «ИНП – система послепродажного обслуживания (СППО)», создаваемая и поддерживаемая в актуальном состоянии в течение всего ЖЦИ. Это информационная модель, представляющая собой совокупность баз данных, содержащих требуемые и достигнутые значения основных характеристик и показателей указанной комплексной системы. Она служит информационным ядром при управлении стоимостью ЖЦИ. Важно отметить, что в международных стандартах CALS-методологии отсутствуют указания на методы и средства, позволяющие эффективно использовать данную информационную модель для достижения поставленных целей. Участники ВП, по сути, самостоятельно пытаются решать свои проблемы в этой области или прибегают к услугам фирм-разработчиков программной продукции

для решения частных (сервисно-ориентированных) задач по управлению процессами. При этом, как правило, информация об использовании каких-либо методов решения этих задач остается закрытой, что привносит неопределенность при оценке покупателем гарантий достоверности таких программ. Таким образом, напрашивается вывод об определенной неполноте современного содержания CALS, выражаемой отсутствием теоретических обоснований путей достижения провозглашаемых ею целей. Для полноценного использования преимуществ данной методологии необходима разработка теории систем ИЛП, включающей в себя единый комплекс современных методов моделирования, оценивания и оптимального управления процессами на всех стадиях ЖЦ комплексной системы «ИНП–СППО», вносящими основной вклад в ее стоимость и качество.

Фактической основой создания единой теории проектирования и управления системой «ИНП–СППО» служат требования стандартов ИЛП рассматривать ИНП на всех стадиях ЖЦИ как совокупность двух взаимосвязанных структур: функциональной и эксплуатационно-технической. Первая — структура ИНП — это иерархически упорядоченная совокупность функций, которыми должно обладать изделие в соответствии с требованиями. Вторая структура отражает также иерархически упорядоченный набор физических элементов, блоков, агрегатов и систем, обеспечивающих требуемое функциональное качество и эксплуатационно-техническое качество ИНП и СППО в целом. С точки зрения современного системного анализа комплексная система «ИНП–СППО», в основе которой лежит совокупность данных структур, является сложной системой, для описания которой требуется разработка специфических гибридных моделей, методов и их приложений, объединенных едиными целями и задачами.

Анализ текущих проблем, связанных с применением ИЛП процессов ЖЦИ в условиях ускоренного развития современных ИТ РФ, привел к необходимости формулировать и решать новые задачи. Так, в работах 2014–2019 гг. в ФИЦ ИУ РАН впервые для отечественной и мировой литературы были описаны более общие, по сравнению с первым изданием книги, принципы моделирования и управления деятельностью хозяйствующих субъектов экономики, информационно объединенных в ВП, действующие на внутреннем и внешнем рынках финансов, товаров, кадров, информации и услуг, представляющие собой класс ОТЭС, находящихся, как правило, под воздействием внутренних и внешних стохастических помех и случайных факторов. Тема стохастического моделирования и вытекающих отсюда ИТ борьбы с помехами путем оценивания (экстраполяции, интерполяции, фильтрации), а также тема оптимизации управления в ОТЭС, в том числе по интегральным социально-техничко-экономическим критериям, как теоретическая основа создания сетей из новых типов информационно-вычислительных комплексов ИЛП в существующих вариантах математической теории экономических систем до настоящего времени также не поднималась. В условиях перехода к новому экономическому укладу на базе глобальной «цифровизации» она имеет для РФ особенно актуальное значение. Исследуемыми процессами в ОТЭС являются процессы ЖЦ однородных совокупностей типовых видов

ресурсов и образцов продукции широкого спектра, а также типовых категорий персонала предприятий промышленности и других организаций как объектов профессиональной подготовки и совершенствования, а также их медицинского обеспечения.

Задачи моделирования и оценивания в ОТЭС заключаются в априорном прогнозировании и последующем нахождении оптимальной апостериорной оценки числа соответствующих объектов, находящихся в различных технологических фазах с целью анализа процессов обслуживания ИНП, социального обеспечения персонала и определения реальных затрат на его поддержку. Задачи оптимального управления заключаются в разработке технологий оптимального планирования и регулирования процессов в ОТЭС, объединенных общим бюджетом.

В 2018 г. был опубликован Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», в котором были поставлены задачи по 12 направлениям, ставшими затем в постановлениях правительства Национальными проектами (программами), направленными на обеспечение прорывного научно-технологического и социально-экономического развития России. Среди этих проектов присутствуют «Цифровая экономика» и «Международная кооперация и экспорт», тематика которых напрямую связана с содержанием настоящего издания книги, посвященного вопросам цифровой экономики, в первую очередь машиностроительных отраслей, оптимизации управления процессами ЖЦ их продукции и персонала предприятий в соответствии с технико-экономическими и социально-экономическими критериями, а также направленного на повышение качества вузовских программ и в целом современного научно-технического образования, в том числе научно-исследовательской базы университетов в этой области.

Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» включает в себя 6 федеральных проектов: «Нормативное регулирование цифровой среды», «Информационная инфраструктура», «Кадры для цифровой экономики», «Информационная безопасность», «Цифровые технологии» и «Цифровое государственное управление». То же касается нацпроекта «Международная кооперация и экспорт», в соответствии с паспортом которого правительство должно обеспечить, в частности, экспорт товаров обрабатывающих отраслей, в том числе машиностроения, и высокий уровень конкурентоспособности продукции, что, очевидно, вытекает из полномасштабного внедрения цифровых технологий в торговые отношения РФ с ее партнерами. Поскольку ЖЦ такой продукции, особенно продукции с длительными сроками использования, подразумевает установление необходимых связей с экономикой зарубежных стран, важнейшим результатом становится также международная кооперация, в том числе в части использования современной инфраструктуры и технологий информационного сопровождения ЖЦ технических изделий, что обеспечивает долговременное плодотворное сотрудничество сторон и является частью политики расширения влияния России и сохранения общего мира.

В качестве инструмента исследований должны быть созданы и использоваться комплексные имитационно-аналитические стохастические модели высокой точности, размерности и максимального быстродействия для описания, оптимального оценивания и управления процессами в ОТЭС различного назначения. При этом высокая точность будет обеспечиваться за счет имитационных моделей (ИМ), а размерность и быстродействие — за счет аналитических моделей с предварительно откалиброванными по ИМ параметрами в реальной структуре режимов функционирования ОТЭС. Создание информационно-аналитических комплексов вертикально и горизонтально интегрированных ОТЭС потребует разработки ИТ оптимального оценивания, планирования и регулирования затрат всевозможных ресурсов на этапах ЖЦ продукции и персонала предприятий-участников с обеспечением агрегирования информации при передаче снизу вверх и дезагрегирования при передаче сверху вниз для ее использования на различных уровнях управления — на основе применения каскадной многоуровневой архитектуры наблюдателей, фильтров и оптимальных регуляторов.

Для обстоятельств острого противоборства каких-либо систем или организаций, когда решающими могут оказаться достоверность источников информации и вытекающее качество управления, потребуется создание и использование стохастических моделей и ИТ управления процессами на основе теории систем со случайной скачкообразно изменяющейся структурой, с помощью которой возможно решение задач разнообразного содержания. Это характерно для условий, когда в реальном времени случайным образом могут возникать ситуации, изменяющие поле возможностей, например для противодействия, в рамках которого должны изменяться стратегия, тактика и конкретная оптимальная реакция для отражения информационной и других видов атак.

Ученики и коллеги И. Н. Сеницына поздравляет Игоря Николаевича с юбилеем и желают долгих лет жизни и творческих успехов.

*И. А. Соколов, В. Н. Захаров, С. Я. Шоргин,  
Э. Р. Корепанов, В. И. Сеницын*

### **Хронологический указатель научных трудов И. Н. Сеницына (2011–2020 годы)**

#### **2011**

1. Соколов И. А., Сеницын И. Н., Баженова Т. В., Быстров И. И., Захаров В. Н., Лавренко Ю. А., Сомин Н. В. Материалы к биобиблиографии ученых ИПИ РАН: Геннадий Дмитриевич Фролов. — М.: ИПИ РАН, 2011. 31 с.
2. Академик Пугачёв Владимир Семенович: к столетию со дня рождения / Предисл. акад. С. В. Емельянова; под ред. И. Н. Сеницына. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2011. 376 с.

3. *Синицын И. Н., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Шоргин В. С., Макаренко И. В., Конашенкова Т. Д., Агафонов Е. С., Семендяев Н. Н.* Развитие компьютерной поддержки статистических исследований систем высокой точности и доступности // Системы и средства информатики, 2011. Вып. 21. № 1. С. 7–37.
4. *Синицын И. Н.* Стохастические информационные технологии для исследования нелинейных круговых стохастических систем // Информатика и её применения, 2011. Т. 5. Вып. 4. С. 78–89.
5. *Соколов И. А., Синицын И. Н.* Предисловие. Академик Пугачёв Владимир Семенович // Информатика и её применения, 2011. Т. 5. Вып. 2. С. 2–3.
6. *Пугачев В. С., Синицын И. Н.* Структурная теория сложных стохастических систем // Информатика и её применения, 2011. Т. 5. Вып. 2. С. 4–16.
7. *Марков Ю. Г., Перепелкин В. В., Синицын И. Н., Семендяев Н. Н.* Информационные модели неравномерности вращения Земли // Информатика и её применения, 2011. Т. 5. Вып. 2. С. 17–35.
8. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Методологические аспекты современной интегрированной логистической поддержки изделий наукоемкой продукции // Системы высокой доступности, 2011. Т. 7. № 4. С. 18–43.
9. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Вопросы создания современной системы послепродажного обслуживания изделий наукоемкой продукции // Системы высокой доступности, 2011. Т. 7. № 4. С. 44–64.
10. *Белоусов В. В., Корепанов Э. Р., Синицын И. Н., Синицын В. И.* Развитие алгоритмического обеспечения анализа стохастических систем, основанного на канонических разложениях случайных функций // Автоматика и телемеханика, 2011. № 2. С. 195–206.
11. *Марков Ю. Г., Рыхлова Л. В., Синицын И. Н.* Развитие методов построения моделей внутригодовой неравномерности вращения Земли // Астрономический ж., 2011. Т. 42. Вып. 3. С. 53–64.
12. *Синицын И. Н.* Обзор научных трудов // Академик Пугачёв Владимир Семенович: к столетию со дня рождения / Предисл. акад. С. В. Емельянова; под ред. И. Н. Синицына. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2011. С. 147–178.
13. *Синицын И. Н., Синицын В. И., Корепанов Э. Р.* О работах В. С. Пугачева в Институте проблем информатики РАН // Академик Пугачёв Владимир Семенович: к столетию со дня рождения / Предисл. акад. С. В. Емельянова; под ред. И. Н. Синицына. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2011. С. 255–266.
14. *Синицын И. Н., Синицын В. И., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Агафонов Е. С.* Стохастические информационные технологии в среде Matlab в задачах компьютерной поддержки научных исследований (к 100-летию со дня рождения академика В. С. Пугачева) // Системы компьютерной математики и их приложения: Мат-лы XII Междунар. научн. конф. — Смоленск: СмолГУ, 2011. Вып. 12. С. 57–58.
15. *Синицын И. Н., Сергеев И. В., Семендяев Н. Н.* Опыт компьютерного моделирования флуктуаций движения Земли и глобальной составляющей сейсмического процесса // Системы компьютерной математики и их приложения: Мат-лы XII Междунар. научн. конф. — Смоленск: СмолГУ, 2011. Вып. 12. С. 131–132.

16. *Sinitsyn I. N., Belousov V. V., Konashenkova T. D.* Software tools for circular stochastic Systems Analyses // 29th Seminar (International) on Stability Problems for Stochastic Models Abstracts. P. 86–87.
17. *Sinitsyn I. N., Belousov V. V.* Informational technologies for quasilinear research of stochastic and chaotic systems // CHAOS 2011: Abstracts of 4th Chaotic Modeling and Simulation Conference (International). — Agios Nikolaos, Crete, Greece, 2011. P. 131–132.
18. Академик Владимир Семенович Пугачев. К 100-летию со дня рождения. <http://www.ras.ru/pugachev/about.aspx>.

**2012**

19. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Лекции по теории систем интегрированной логистической поддержки. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2012. 624 с.
20. *Синицын И. Н., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Конашенкова Т. Д.* Развитие математического обеспечения для анализа нелинейных многоканальных круговых стохастических систем // Системы и средства информатики. — М.: ИПИ РАН, 2012. Вып. 22. № 1. С. 29–40.
21. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Сергеев И. В., Синицын В. И., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Агафонов Е. С., Шоргин В. С.* Методы и средств анализа и моделирования стохастических систем интегрированной логистической поддержки // Системы и средства информатики. — М.: ИПИ РАН, 2012. Вып. 22. № 2. С. 3–28.
22. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Корепанов Э. Р., Агафонов Е. С.* Опыт создания и обучения средствам интегрированной логистической поддержки изделий наукоемкой продукции в среде MATLAB // Современные информационные технологии и ИТ-образование: Сб. избранных тр. VII Междунар. научн.-практич. конф. — М.: ИНТУИТ.РУ, 2012. С. 786–791.
23. *Синицын И. Н.* Математическое обеспечение для анализа нелинейных многоканальных круговых стохастических систем, основанное на параметризации распределений // Информатика и её применения, 2012. Т. 6. Вып. 1. С. 12–18.
24. *Синицын И. Н.* Аналитическое моделирование распределений с инвариантной мерой в стохастических системах с автокоррелированными шумами // Информатика и её применения, 2012. Т. 6. Вып. 4. С. 28–39.
25. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Проектирование CALS-систем. Часть 1. Системы управления жизненным циклом изделий и их моделирование // Системы высокой доступности, 2012. № 3. Т. 8. С. 3–17.
26. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Проектирование CALS-систем. Часть 2. Аналитическое моделирование интегрированных систем послепродажного обслуживания изделий наукоемкой продукции // Системы высокой доступности, 2012. Т. 8. № 4. С. 4–46.
27. *Марков Ю. Г., Рыклова Л. В., Синицын И. Н.* Развитие методов построения моделей внутригодовой неравномерности вращения Земли // Астрономический ж., 2012. Т. 89. № 2. С. 180–192.

28. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Синицын В. И.* Развитие систем интегрированной логистической поддержки изделий наукоемкой продукции // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации: Сб. мат-лов X Междунар. конф. — Курск: ЮЗГУ, 2012. С. 63–65.
29. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Сергеев И. В., Белоусов В. В., Агафонов Е. С.* Развитие средств интегрированной логистической поддержки изделий наукоемкой продукции на основе систем компьютерной математики // Системы компьютерной математики и их приложения: Сб. мат-лов XIII Междунар. научн. конф. — Смоленск: СмолГУ, 2012. Вып. 13. С. 119–124.
30. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Сергеев И. В.* Проблемы моделирования и минимизации затрат на эксплуатацию изделий наукоемкой продукции на современном этапе // Кибернетика и высокие технологии XXI века: Сб. докл. XIII Междунар. научн.-технич. конф. — Воронеж: НПФ «Саквөөе», 2012. Т. 2. С. 358–370.
31. *Синицын И. Н., Синицын В. И., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Сергеев И. В., Басилашвили Д. А.* Опыт моделирования эрдитарных стохастических систем // Кибернетика и высокие технологии XXI века: Сб. докл. XIII Междунар. научн.-технич. конф. — Воронеж: НПФ «Саквөөе», 2012. Т. 2. С. 346–357.
32. *Синицын И. Н.* Развитие методов аналитического моделирования распределений с инвариантной мерой в стохастических системах // Современные проблемы прикладной математики, информатики, автоматизации, управления: Мат-лы Междунар. семинара. — Севастополь: СевНТУ, 2012. С. 24–35.
33. *Sinitsyn I. N., Belousov V. V., Konashenkova T. D.* Software tools for spherical stochastic systems analysis and filtering // Прикладные задачи теории вероятностей и математической статистики, связанные с моделированием информационных систем: Междунар. семинар по проблемам устойчивости стохастических моделей и VI Междунар. рабочий семинар: Сб. тезисов. — М.: ИПИ РАН, 2012. С. 91–93.
34. *Мунерман В. И., Сенчилов В. В., Синицын И. Н.* Системы компьютерной математики как средство формирования детерминированного и стохастического воображения у учащихся // Современные информационные технологии и ИТ-образование: Сб. избранных тр. VII Междунар. научн.-практич. конф. — М.: ИНТУИТ.РУ, 2012. С. 690–698.

### 2013

35. *Соколов И. А., Синицын И. Н., Захаров В. Н., Баженова Т. В., Лавренюк Ю. А., Губин А. В., Урмаев О. С., Николаев В. Г., Швец И. В., Городилина Т. В., Новикова А. П., Новикова Н. Д.* Сергей Олегович Новиков / Под ред. И. А. Соколова, И. Н. Синицына. — Серия «Материалы к библиографии ученых ИПИ РАН». — М.: ИПИ РАН, 2013. 45 с.
36. *Синицын И. Н., Синицын В. И.* Лекции по нормальной и эллипсоидальной аппроксимации распределений в стохастических системах. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2013. 488 с.



37. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Кулешов А. А.* Нелинейное корреляционное моделирование и анализ надежности систем послепродажного обслуживания изделий наукоемкой продукции // Системы и средства информатики, 2013. — М.: ИПИ РАН, 2013. Т. 23. № 1. С. 80–104.
38. *Синицын И. Н.* Параметрическое статистическое и аналитическое моделирование распределений в нелинейных стохастических системах на многообразиях // Информатика и её применения, 2013. Т. 7. Вып. 2. С. 4–16.
39. *Синицын И. Н.* Аналитическое моделирование распределений с инвариантной мерой в стохастических системах с разрывными характеристиками // Информатика и её применения, 2013. Т. 7. Вып. 1. С. 3–12.
40. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Проектирование CALS-систем. Часть 3. Аналитическое моделирование систем послепродажного обслуживания со смешанными потоками расходования, восстановления и пополнения запасов // Системы высокой доступности, 2013. Т. 9. № 1. С. 4–34.
41. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Проектирование CALS-систем. Часть 4. Статистический анализ и параметрический синтез систем послепродажного обслуживания // Системы высокой доступности, 2013. Т. 9. № 2. С. 4–35.
42. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Агафонов Е. С.* Инструментальная система автоматического поиска оптимальных программ поставок в системах послепродажного обслуживания изделий // Системы высокой доступности, 2013. Т. 9. № 2. С. 47–54.
43. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Моделирование и синтез системы послепродажного обслуживания на стороне поставщика // Системы высокой доступности, 2013. Т. 9. № 4. С. 12–24.
44. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Моделирование и синтез системы послепродажного обслуживания на стороне заказчика // Системы высокой доступности, 2013. Т. 9. № 4. С. 25–47.
45. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Сергеев И. В., Кулешов А. А.* Развитие алгоритмического и инструментального программного обеспечения для аналитической вероятностного моделирования и оптимизации процессов материально-технического обеспечения // Кибернетика и высокие технологии XXI века: Сб. докл. XIV Междунар. научн.-технич. конф. — Воронеж: НПФ «Саквоее», 2013. С. 375–384.
46. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В.* Методическое и инструментальное программное обеспечение статистического и аналитического моделирования распределений в нелинейных стохастических системах на многообразиях // Кибернетика и высокие технологии XXI века: Сб. докл. XIV Междунар. научн.-технич. конф. — Воронеж: НПФ «Саквоее», 2013. С. 385–394.
47. *Синицын И. Н., Мунерман В. И.* Модели обработки данных в системах интегрированной логистической поддержки // Системы компьютерной математики и их приложения: Мат-лы XIV Междунар. научн. конф., посвященной 90-летию профессора М. Б. Балка. — Смоленск: СмолГУ, 2013. Вып. 14. С. 99–102.

48. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Синицын В. И., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Кулешов А. А.* Методы и средства оценки запасов и уровня готовности систем интегрированной логистической поддержки, основанные на канонических разложениях случайных функций // Современные проблемы прикладной математики, информатики, автоматизации и управления: Мат-лы III Междунар. Научн.-технич. семинара. — М.: ИПИ РАН, 2013. С. 115–126.
49. *Sinitsyn I., Sinitsyn V., Korepanov E., Belousov V.* Symbolic software tools for distributions parametrization in nonlinear stochastic systems // XXXI Междунар. семинар по проблемам устойчивости стохастических моделей, VII Междунар. рабочий семинар «Прикладные задачи теории вероятностей и математической статистики, связанные с моделированием информационных систем и Междунар. рабочий семинар «Прикладная теория вероятностей и теоретическая информатика: Сб. тезисов. — М.: ИПИ РАН, 2013. С. 88–89.
50. *Sinitsyn I. N., Gorbunov P. V.* The experience in the developing suboptimal algorithm of analysis, modeling and interpreting signals in outer scanning analyzer of microorganisms // 11th Conference (International) on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies Proceedings. — Samara: IPSI RAS, 2013. Vol. II. P. 471–473.
51. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Синицын В. И., Агафонов Е. С.* Алгоритмическое и программное обеспечение обработки информации и синтеза систем интегрированной логистической поддержки // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации: Сб. мат-лов XI Междунар. научн.-технич. конф. — Курск: ЮЗГУ, 2013. С. 428–430.

#### 2014

52. *Синицын И. Н., Сергеев И. В., Синицын В. И., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В.* Математическое обеспечение параметрического моделирования распределений в интегродифференциальных системах // Системы и средства информатики, 2014. Т. 24. № 1. С. 4–45.
53. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Сергеев И. В., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Гумникова Т. С., Шоргин В. С., Агафонов Е. С.* Методы и средства оптимального планирования параметров процессов в системах послепродажного обслуживания изделий наукоемкой продукции // Системы и средства информатики, 2014. Т. 24. № 2. С. 4–22.
54. *Синицын И. Н., Сергеев И. В., Синицын В. И., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В.* Математическое обеспечение аналитического моделирования стохастических систем со сложными нелинейностями // Системы и средства информатики, 2014. Т. 24. № 3. С. 4–29.
55. *Синицын И. Н.* Анализ и моделирование распределений в эредитарных стохастических системах // Информатика и её применения, 2014. Т. 8. Вып. 1. С. 2–11.
56. *Синицын И. Н.* Аналитическое моделирование распределений с инвариантной мерой в негауссовских дифференциальных и приводимых к ним эредитарных стохастических системах // Информатика и её применения, 2014. Т. 8. Вып. 2. С. 2–14.

57. *Синицын И. Н., Синицын В. И.* Аналитическое моделирование нормальных процессов в стохастических системах со сложными нелинейностями // Информатика и её применения, 2014. Т. 8. Вып. 3. С. 12–18.
58. *Будзко В. И., Синицын И. Н.* Соколову Игорю Анатольевичу 60 лет // Системы высокой доступности, 2014. Т. 10. № 2. С. 65–66.
59. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Базовые технологии управления стоимостью жизненного цикла организационно-техничко-экономических систем. Часть 1. Принципы и подходы // Системы высокой доступности, 2014. Т. 10. № 4. С. 1–47.
60. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Базовые технологии управления стоимостью жизненного цикла организационно-техничко-экономических систем высокой доступности. Часть 2. Проектирование интегрированной информационной среды // Системы высокой доступности, 2014. Т. 10. № 4. С. 49–87.
61. *Будзко В. И., Синицын И. Н.* Развитие компьютерных информационных технологий «Большие данные» // Системы компьютерной математики и их приложения: Мат-лы XV Междунар. конф. — Смоленск: СмолГУ, 2014. Вып. 15. С. 69–75.
62. *Синицын И. Н., Синицын В. И.* Нормальные и эллипсоидальные распределения в интегродифференциальных системах // Системы компьютерной математики и их приложения: Мат-лы XV Междунар. конф. — Смоленск: СмолГУ, 2014. Вып. 15. С. 196–197.
63. *Синицын И. Н., Синицын В. И., Корепанов Э. Р.* Аналитическое моделирование эредитарных стохастических систем со сложными нелинейностями // Современные проблемы прикладной математики, информатики, автоматизации и управления: Мат-лы IV Междунар. научн.-технич. семинара. — М.: ИПИ РАН, 2014. С. 29–34.
64. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Сергеев И. В., Агафонов Е. С.* Развитие новых подходов в управлении стоимостью полного жизненного цикла изделий наукоемкой продукции // Кибернетика и высокие технологии XXI века: Сб. докл. XV Междунар. научн.-технич. конф. — Воронеж: НПФ «Саквое», 2014. С. 531–542.
65. *Синицын И. Н., Сергеев И. В., Синицын В. И., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В.* Аналитическое компьютерной моделирование в эредитарных стохастических системах с автокоррелированными шумами // Кибернетика и высокие технологии XXI века: Сб. докл. XV Междунар. научн.-технич. конф. — Воронеж: НПФ «Саквое», 2014. С. 543–551.
66. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Информационные технологии управления стоимостью жизненного цикла организационно-техничко-экономических систем // Современные информационные технологии и ИТ-образование: Сб. избранных тр. IX Междунар. научн.-практич. конф. — М.: ИНТУИТ.РУ, 2014. С. 237–271.
67. *Мунерман В. И., Мунерман Д. В., Синицын И. Н., Чукляев И. И.* Параллельная реализация задач интегрированной логистической поддержки (CALS) // Современные информационные технологии и ИТ-образование: Сб. избранных тр. IX Междунар. научн.-практич. конф. — М.: ИНТУИТ.РУ, 2014. С. 548–554.

2015

68. *Синицын И. Н., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В.* Развитие математического обеспечения аналитического и статистического моделирования эрдитарных стохастических систем // Идентификация систем и задачи управления: Тр. X Междунар. конф. — М.: ИПУ им. В. А. Трапезникова, 2015. С. 1275–1297.
69. *Синицын И. Н., Синицын В. И., Корепанов Э. Р.* Моделирование нормальных процессов в стохастических системах со сложными иррациональными нелинейностями // Информатика и её применения, 2015. Т. 9. Вып. 1. С. 2–8.
70. *Синицын И. Н., Корепанов Э. Р.* Устойчивые линейные условно оптимальные фильтры и экстраполяторы для стохастических систем с мультипликативными шумами // Информатика и её применения, 2015. Т. 9. Вып. 1. С. 70–75.
71. *Синицын И. Н., Синицын В. И., Корепанов Э. Р.* Моделирование нормальных процессов в стохастических системах со сложными трансцендентными нелинейностями // Информатика и её применения, 2015. Т. 9. Вып. 2. С. 23–29.
72. *Синицын И. Н., Корепанов Э. Р.* Нормальные фильтры Пугачева для дифференциальных стохастических систем, линейных относительно состояния // Информатика и её применения, 2015. Т. 9. Вып. 2. С. 31–39.
73. *Синицын И. Н.* Аналитическое моделирование распределений методом ортогональных разложений в нелинейных стохастических системах на многообразиях // Информатика и её применения, 2015. Т. 9. Вып. 3. С. 17–24.
74. *Синицын И. Н.* Аналитическое моделирование распределений в динамических системах с бесселевыми нелинейностями // Информатика и её применения, 2015. Т. 9. Вып. 4. С. 37–47.
75. *Синицын И. Н., Корепанов Э. Р.* Синтез устойчивых линейных фильтров и экстраполяторов Пугачева для стохастических систем с мультипликативными широкополосными шумами // Системы и средства информатики, 2015. Т. 25. № 1. С. 110–128.
76. *Синицын И. Н., Синицын В. И., Сергеев И. В., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Шоргин В. С.* Математическое обеспечение моделирования нормальных процессов в стохастических системах со сложными иррациональными нелинейностями // Системы и средства информатики, 2015. Т. 25. № 2. С. 45–61.
77. *Синицын И. Н., Сергеев И. В., Синицын В. И., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Шоргин В. С.* Математическое обеспечение синтеза дискретных фильтров Пугачева для обработки нормальных процессов в эрдитарных стохастических системах // Системы и средства информатики, 2015. Т. 25. № 2. С. 62–101.
78. *Синицын И. Н.* Применение ортогональных разложений для аналитического моделирования многомерных распределений в нелинейных стохастических системах на многообразиях // Системы и средства информатики, 2015. Т. 25. № 3. С. 3–22.
79. *Синицын И. Н.* Методы моментов в задачах аналитического моделирования распределений в нелинейных стохастических системах на многообразиях // Системы и средства информатики, 2015. Т. 25. № 3. С. 24–43.

80. *Синицын И. Н., Синицын В. И., Корепанов Э. Р.* Аналитическое моделирование нормальных процессов в стохастических системах со сложными дробно-рациональными нелинейностями // Системы и средства информатики, 2015. Т. 25. № 4. С. 3–17.
81. *Синицын И. Н., Синицын В. И., Сергеев И. В., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В.* Условно оптимальная фильтрация нормальных процессов в эрдитарных стохастических системах // Современные проблемы прикладной математики, информатики, автоматизации и управления: Тр. V Юбилейного семинара / Под ред. И. А. Соколова, В. И. Кошкина. — Севастополь: СевГУ, 2015. С. 23–33.
82. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Сергеев И. В., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Агафонов Е. С., Шоргин В. С.* Опыт разработки инструментального программного обеспечения для моделирования стохастических процессов в системах послепродажного обслуживания изделий наукоемкой продукции // Современные проблемы прикладной математики, информатики, автоматизации и управления: Тр. V Юбилейного семинара / Под ред. И. А. Соколова, В. И. Кошкина. — Севастополь: СевГУ, 2015. С. 34–43.
83. *Синицын И. Н., Сергеев И. В., Синицын В. И., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Горбунов П. В.* Опыт синтеза дискретных фильтров Пугачева для обработки нормальных процессов в эрдитарных стохастических системах // Кибернетика и высокие технологии XXI века: Сб. докл. XVI Междунар. научн.-технич. конф. — Воронеж: НПФ «Саквеев», 2015. С. 76–88.
84. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Белоусов В. В., Корепанов Э. Р., Агафонов Е. С., Шоргин В. С.* Современные задачи послепродажного обслуживания изделий наукоемкой продукции // Кибернетика и высокие технологии XXI века: Сб. докл. XVI Междунар. научн.-технич. конф. — Воронеж: НПФ «Саквеев», 2015. С. 89–99.
85. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Базовые технологии управления стоимостью жизненного цикла организационно-техничко-экономических систем высокой доступности. Часть 3. Методическое обеспечение технологий стохастического моделирования стоимости процессов // Системы высокой доступности, 2015. Т. 11. № 1. С. 23–60.
86. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Базовые технологии управления стоимостью жизненного цикла организационно-техничко-экономических систем высокой доступности. Часть 4. Стохастическое моделирование процессов на рынке финансов, товаров и услуг // Системы высокой доступности, 2015. Т. 11. № 1. С. 61–84.
87. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Белоусов В. В., Гумникова Т. С.* Базовые технологии управления стоимостью жизненного цикла организационно-техничко-экономических систем высокой доступности. Часть 5. Тестовый пример стохастического моделирования стоимости процессов обеспечения технической готовности парков воздушных судов ОТЭС авиаперевозок // Системы высокой доступности, 2015. Т. 11. № 1. С. 85–101.
88. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Базовые технологии управления стоимостью жизненного цикла организационно-техничко-экономических систем высокой доступности. Часть 6. Стохастические методы микроэкономического моделирования

- динамических процессов // Системы высокой доступности, 2015. Т. 11. № 2. С. 3–12.
89. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Методическое обеспечение информационных технологий стохастического моделирования процессов в организационно-технических системах на малых рынках финансов, товаров и услуг // Исследования по экономике информационных систем: Мат-лы научн.-практич. конф. «Экономическая эффективность информационных бизнес-систем» / Под ред. М. И. Лугачева, К. Г. Скрипкина. — М.: Экономический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, 2015. С. 83–95.
90. *Мунерман В. И., Мунерман Д. В., Синицын И. Н.* Архитектура вычислительных комплексов для реализации запросов в системах массовой обработки данных // Системы компьютерной математики и их приложения: Мат-лы XVI Междунар. научн. конф. — Смоленск: СмолГУ, 2015. Вып. 16. С. 85–87.
91. *Соколов И. А., Будзко В. И., Калинин Л. А., Синицын И. Н., Ступников С. А.* Развитие работ в области «Больших данных» в Российской академии наук // Системы компьютерной математики и их приложения: Мат-лы XVI Междунар. научн. конф. — Смоленск: СмолГУ, 2015. Вып. 16. С. 103–112.
92. *Синицын И. Н., Горбунов П. В.* Оптико-электронный флуориметр для экспресс-оценки жизнеспособности бактериальных культур // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации: Сб. мат-лов XIII Междунар. научн.-технич. конф. — Курск: ЮЗГУ, 2015. С. 333–336.
93. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Информационные технологии фильтрации помех в организационно-технич.-экономических системах // Современные информационные технологии и ИТ-образование. — М.: Лига интернет-медиа, 2015. Т. 1. № 11. С. 571–579.
94. *Белоусов В. В., Горшенин А. К., Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Программа для автоматизации исследований процессов в стохастических моделях организационных технико-экономических систем. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016618807 от 08.08.2016.

### 2016

95. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Сергеев И. В., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Агафонов Е. С.* Стохастическое моделирование и оптимизация процессов в системах послепродажного сопровождения изделий наукоемкой продукции // Системы компьютерной математики и их приложения: Мат-лы XVII Междунар. научн. конф. — Смоленск: СмолГУ, 2016. Вып. 17. С. 84–85.
96. *Синицын И. Н., Корепанов Э. Р.* Синтез алгоритмов нормальной субоптимальной фильтрации для автокоррелированных стохастических систем, линейных относительно состояния // Системы компьютерной математики и их приложения: Мат-лы XVII Междунар. научн. конф. — Смоленск: СмолГУ, 2016. Вып. 17. С. 82–83.
97. *Синицын И. Н., Синицын В. И.* Аналитическое моделирование распределений в нелинейных стохастических системах на многообразиях методом эллипсоидальной аппроксимации // Информатика и её применения, 2016. Т. 10. Вып. 1. С. 45–55.

98. *Синицын И. Н.* Ортогональные субоптимальные фильтры для нелинейных стохастических систем на многообразиях // Информатика и её применения, 2016. Т. 10. Вып. 1. С. 34–44.
99. *Синицын И. Н.* Нормальные и ортогональные субоптимальные фильтры для нелинейных стохастических систем на многообразиях // Системы и средства информатики, 2016. Т. 26. № 1. С. 199–226.
100. *Синицын И. Н., Синицын В. И., Сергеев И. В., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Шоргин В. С.* Математическое обеспечение аналитического моделирования нормальных процессов в стохастических системах со сложными дробно-рациональными нелинейностями // Системы и средства информатики, 2016. Т. 26. № 1. С. 227–247.
101. *Синицын И. Н., Синицын В. И., Корепанов Э. Р.* Эллипсоидальные субоптимальные фильтры для нелинейных стохастических систем на многообразиях // Информатика и её применения, 2016. Т. 10. Вып. 2. С. 24–35.
102. *Синицын И. Н., Синицын В. И., Корепанов Э. Р.* Модифицированные эллипсоидальные фильтры для нелинейных стохастических систем на многообразиях // Системы и средства информатики, 2016. Т. 26. № 2. С. 79–97.
103. *Синицын И. Н., Корепанов Э. Р.* Нормальные условно-оптимальные фильтры и экстраполяторы Пугачева для стохастических систем линейных относительно состояния // Информатика и её применения, 2016. Т. 10. Вып. 2. С. 14–23.
104. *Синицын И. Н., Синицын В. И., Сергеев И. В., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Шоргин В. С., Агафонов Е. С.* Математическое обеспечение субоптимальной нормальной фильтрации в стохастических системах со сложными дробно-рациональными нелинейностями // Системы и средства информатики, 2016. Т. 26. № 1. С. 137–157.
105. *Синицын И. Н., Корепанов Э. Р.* Нормальные фильтры Пугачёва для автокоррелированных стохастических систем, линейных относительно состояния // Системы и средства информатики, 2016. Т. 26. № 1. С. 63–78.
106. *Синицын И. Н., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В.* Символьное аналитическое моделирование нормальных процессов в стохастических системах со сложными бесселевыми нелинейностями дробного порядка // Системы и средства информатики, 2016. Т. 26. № 3. С. 184–205.
107. *Синицын И. Н.* Аналитическое моделирование нормальных процессов в стохастических системах со сложными бесселевыми нелинейностями дробного порядка // Информатика и её применения, 2016. Т. 10. Вып. 3. С. 25–35.
108. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Белоусов В. В.* Программное инструментальное обеспечение аналитического моделирования процессов высокой размерности в системах послепродажного сопровождения изделий наукоемкой продукции // Системы высокой доступности, 2016. Т. 12. № 1. С. 37–40.
109. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Стохастические CALS-технологии для послепродажного сопровождения систем высокой доступности // Системы высокой доступности, 2016. Т. 12. № 2. С. 13–26.

110. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Титов Ю. П.* Методологические проблемы стохастического моделирования, фильтрации и оптимизации // Системы высокой доступности, 2016. Т. 12. № 2. С. 38–94.
111. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Методические вопросы развития российской интегрированной логистической поддержки для управления жизненным циклом наукоемкой продукции // Системы высокой доступности, 2016. Т. 12. № 3. С. 3–8.
112. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Организационно-техничко-экономические системы: проблемы стохастического моделирования и оптимизации // Экономическая наука и развитие университетских научных школ (к 75-летию экономического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова): Междунар. научн. конф. «Ломоносовские чтения-2016»: Сб. статей. — М.: Экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, 2016. С. 1399–1406.
113. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Титов Ю. П.* Перспективные информационные технологии оптимального управления организационно-техничко-экономическими системами // Перспективные направления развития отечественных информационных технологий: Мат-лы II Межрегиональной научн.-практич. конф. — Севастополь: СевГУ, 2016. С. 17–19.

**2017**

114. *Синицын И. Н.* Параметрическое аналитическое моделирование процессов в стохастических системах, не разрешенных относительно производных // Системы и средства информатики, 2017. Т. 27. № 1. С. 21–45.
115. *Синицын И. Н.* Аналитическое моделирование широкополосных процессов в стохастических системах, не разрешенных относительно производных // Информатика и её применения, 2017. Т. 11. Вып. 1. С. 3–19.
116. *Синицын И. Н.* Аналитическое моделирование нормальных процессов в стохастических системах с эллиптическими нелинейностями // Системы и средства информатики, 2017. Т. 27. № 1. С. 4–20.
117. *Синицын И. Н.* Аналитическое моделирование нормальных процессов в стохастических системах с интегральными нелинейностями (I) // Системы и средства информатики, 2017. Т. 27. № 2. С. 3–15.
118. *Синицын И. Н.* Аналитическое моделирование нормальных процессов в стохастических системах с интегральными нелинейностями (II) // Системы и средства информатики, 2017. Т. 27. № 3. С. 23–36.
119. *Синицын И. Н.* Аналитическое моделирование нормальных процессов в стохастических системах с интегральными нелинейностями (III) // Системы и средства информатики, 2017. Т. 27. № 4. С. 16–36.
120. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Титов Ю. П.* Методическое и инструментальное программное обеспечение моделирования процессов в организационно-техничко-экономических системах массового применения // Системы высокой доступности, 2017. Т. 13. № 1. С. 65–90.



121. *Синицын И. Н.* Развитие методического и инструментального программного обеспечения аналитического моделирования стохастических систем с эллиптическими нелинейностями // Современные информационные технологии и ИТ-образование, 2017. Т. 13. № 1. С. 30–34.
122. *Синицын И. Н., Корепанов Э. Р., Сергеев И. В., Конашенкова Т. Д.* Инструментальное программное обеспечение анализа и синтеза стохастических систем высокой доступности (IV) // Системы высокой доступности, 2017. Т. 13. № 3. С. 55–69.
123. *Сергеев И. В., Корепанов Э. Р., Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Агрегативные методы и информационные технологии оценивания планирования и регулирования процессов в организационно-техничко-экономических системах массового применения // Перспективные направления развития отечественных информационных технологий: Мат-лы III Межрегиональной научн.-практич. конф. — Севастополь: РИБЕСТ, 2017. С. 21–24.
124. *Синицын И. Н., Корепанов Э. Р.* Аналитическое моделирование стохастических систем с эллиптическими нелинейностями Якоби и Вейерштрасса // Системы компьютерной математики и их приложения: Мат-лы XVIII Междунар. конф., посвященной 70-летию В. И. Мунермана. — Смоленск: СмолГУ, 2017. Вып. 18. С. 122–123.
125. *Синицын И. Н., Сергеев И. В., Корепанов Э. Р., Конашенкова Т. Д.* Стохастические канонические вейвлет-разложения в задачах моделирования виброударонадежности компьютерного оборудования // Системы компьютерной математики и их приложения: Мат-лы XVIII Междунар. конф., посвященной 70-летию В. И. Мунермана. — Смоленск: СмолГУ, 2017. Вып. 18. С. 123–124.

**2018**

126. *Синицын И. Н., Синицын В. И., Сергеев И. В., Корепанов Э. Р.* Методы эллипсоидальной фильтрации процессов в нелинейных стохастических системах на многообразиях // Автоматика и телемеханика, 2018. № 1. С. 147–161. (*Sinitsyn I. N., Sinitsyn V. I., Sergeev I. V., Korepanov E. R.* Methods of ellipsoidal filtration in nonlinear stochastic systems on manifolds // Automat. Rem. Contr., 2018. Vol. 79. No. 1. P. 117–127. doi: 10.1134/S0005117918010101.)
127. *Синицын И. Н.* Метод интерполяционного аналитического моделирования одномерных распределений в стохастических системах // Информатика и её применения, 2018. Т. 12. Вып. 1. С. 55–61. doi: 10.14357/19922264180107.
128. *Синицын И. Н., Синицын В. И., Корепанов Э. Р.* Аналитический синтез субоптимальных фильтров методами моментов // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 1. С. 4–19. doi: 10.14357/08696527180101.
129. *Синицын И. Н., Синицын В. И.* Аналитическое моделирование нормальных процессов в вольтерровских стохастических системах // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 2. С. 4–19. doi: 10.14357/08696527180201.
130. *Синицын И. Н., Синицын В. И.* Аналитическое моделирование распределений с инвариантной мерой в вольтерровских стохастических системах // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 3. С. 4–25. doi: 10.14357/08696527180301.

131. *Синицын И. Н., Сергеев И. В., Корепанов Э. Р., Конашенкова Т. Д.* Экспресс-моделирование стохастических систем высокой доступности на основе вейвлет-канонических разложений // Системы компьютерной математики и их приложения: Мат-лы XIX Междунар. научн. конф., посвященной 100-летию физико-математического факультета СмолГУ. — Смоленск: СмолГУ, 2018. Вып. 19. С. 213–220.
132. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Модели и базовые технологии фильтрации в организационно-техничко-экономических системах // Системы высокой доступности, 2018. Т. 14. № 1. С. 43–58.
133. *Синицын И. Н., Сергеев И. В., Корепанов Э. Р., Конашенкова Т. Д.* Инструментальное программное обеспечение анализа и синтеза стохастических систем высокой доступности (V) // Системы высокой доступности, 2018. Т. 14. № 1. С. 59–70.
134. *Синицын И. Н., Дружинина О. В., Масина О. Н.* Аналитическое моделирование и анализ устойчивости широкополосных миграционных потоков // Нелинейный мир, 2018. Т. 16. № 3. С. 3–16.
135. *Синицын И. Н., Дружинина О. В., Масина О. Н.* Обобщение нелинейных моделей миграционных потоков // Мат-лы молодежной секции в рамках IV Междунар. научн.-практич. конф. «Системы управления, технические системы: устойчивость, стабилизация, пути и методы исследования». — Елец: ЕГУ им. И. А. Бунина, 2018. С. 16–21.

**2019**

136. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Лекции по теории систем интегрированной логической поддержки. — 2-е изд. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2019. 1072 с.
137. *Sinitsyn I. N., Shalakov A. S.* Probabilistic modeling, estimation and control for CALS organization-technical-economic systems // Probability, combinatorics and control. — London: Intech Open, 2019. Chapter 5.
138. *Синицын И. Н.* Интерполяционное аналитическое моделирование распределений в сложных стохастических системах // Информатика и её применения, 2019. Т. 13. Вып. 1. С. 2–8. doi: 10.14357/19922264190101.
139. *Синицын И. Н., Жуков Д. В., Корепанов Э. Р., Конашенкова Т. Д.* Развитие прямых методов аналитического интерполяционного моделирования распределений в стохастических системах // Системы компьютерной математики и их приложения: Мат-лы XX Междунар. научн. конф. — Смоленск: СмолГУ, 2019. Вып. 20. С. 256–260.
140. *Синицын И. Н., Жуков Д. В., Корепанов Э. Р., Конашенкова Т. Д.* Инструментальное программное обеспечение анализа и синтеза стохастических систем высокой доступности (VII) // Системы высокой доступности, 2019. Т. 15. № 1. С. 47–61. doi: 10.18127/j20729472-201901-06.
141. *Синицын И. Н., Жуков Д. В., Корепанов Э. Р., Конашенкова Т. Д.* Инструментальное программное обеспечение анализа и синтеза стохастических систем высокой доступности (VIII) // Системы высокой доступности, 2019. Т. 15. № 1. С. 62–69. doi: 10.18127/j20729472-201901-07.

142. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Системы и средства информационной поддержки послепродажного обслуживания серийной продукции. Аналитический обзор // Системы высокой доступности, 2019. Т. 15. № 3. С. 34–57. doi: 10/18127/j20729472-201903-03.
143. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Оптимальное оценивание и управление в стохастических синергетических организационно-техничко-экономических системах. Фильтрация в подсистемах продукции и персонала на фоне помех (I) // Системы высокой доступности, 2019. Т. 15. № 4. С. 27–48. doi: 10/18127/j20729472-201904-04.
144. *Синицын И. Н., Синицын В. И.* Аналитическое моделирование процессов в вольтерровских стохастических системах методом канонических разложений // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 1. С. 109–127. doi: 10.14357/08696527190110.
145. *Синицын И. Н., Синицын В. И.* Условно-оптимальное линейное оценивание нормальных процессов в вольтерровских стохастических системах // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. Вып. 3. С. 16–28. doi: 10.14357/08696527190302.
146. *Синицын И. Н., Шаламов А. С., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Титов Ю. П.* Опыт разработки инструментальных программных средств фильтрации и идентификации в организационно-техничко-экономических системах // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления: Сб. тр. — М.: ИПУ РАН, 2019. С. 581–585. doi: 10.25728/vspru.2019.0585.
147. *Синицын И. Н., Дружинина О. В., Белоусов В. В., Масина О. Н., Петров А. А.* Опыт разработки инструментально-методического обеспечения для решения задач моделирования нелинейных управляемых систем с применением технологий машинного обучения и отечественных программно-аппаратных средств // Нелинейный мир, 2019. Т. 17. № 4. С. 5–19. doi: 10.18127/j20700970-201903-06.
148. *Sinitsyn I., Sinitsyn V.* Ellipsoidal approximation of distributions and its applications // Mathematics Statistics, 2019. Vol. 7. No. 5. P. 218–228. doi: 10.13189/ms.2019.070508.

2020

149. *Синицын И. Н., Синицын В. И.* Фильтрация и экстраполяция процессов в миграционно-популяционных стохастических системах // Системы и средства информатики, 2020. Т. 30. № 1. С. 4–19. doi: 10.14357/08696527200101.
150. *Sinitsyn I. N.* Analytical modeling of “linear” and circular control stochastic systems // Advances in robotics and automatic control: Reviews / Ed. S. Y. Yurish. — Book ser. — Barcelova, Spain: IFSA Publishing, 2020 (in press). Vol. 2.
151. *Синицын И. Н., Синицын В. И., Корепанов Э. Р.* Развитие теории фильтров Липцера–Ширяева // Автоматика и телемеханика, 2020. № 4. С. 37–51. doi: 10.1134/S0005231019040030.
152. *Синицын И. Н., Синицын В. И., Корепанов Э. Р., Конашенкова Т. Д.* Оптимизация стохастических систем на основе вейвлет-канонических разложений // Автоматика и телемеханика, 2020 (в печати). № 11.

---

## ОБ АВТОРАХ

---

**Адамович Игорь Михайлович** (р. 1934) — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Волков Олег Игоревич** (р. 1964) — ведущий программист Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Гаврилов Виктор Евдокимович** (р. 1950) — старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Гринченко Сергей Николаевич** (р. 1946) — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Дьяченко Денис Юрьевич** (р. 1987) — инженер-исследователь Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Дьяченко Юрий Георгиевич** (р. 1958) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Егорова Анна Юрьевна** (р. 1991) — младший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Зарядов Иван Сергеевич** (р. 1981) — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей Российского университета дружбы народов; старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Зацаринный Александр Алексеевич** (р. 1951) — доктор технических наук, заместитель директора Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН), главный научный сотрудник Института проблем информатики ФИЦ ИУ РАН

**Зацман Игорь Моисеевич** (р. 1952) — доктор технических наук, заведующий отделом Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Ильин Александр Владимирович** (р. 1975) — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Государственного научно-исследовательского института авиационных систем

**Ильин Владимир Дмитриевич** (р. 1937) — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Вычислительного центра им. А. А. Дородницына Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Колесников Александр Васильевич** (р. 1948) — доктор технических наук, профессор Института физико-математических наук и информационных технологий Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта

**Кривошеев Игорь Александрович** (р. 1949) — доктор технических наук, главный научный сотрудник Института горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук (ДВО РАН) Хабаровского Федерального исследовательского центра ДВО РАН

**Кружков Михаил Григорьевич** (р. 1975) — старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Линник Максим Анатольевич** (р. 1995) — младший научный сотрудник Вычислительного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук

**Малашенко Юрий Евгеньевич** (р. 1946) — доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Мейханаджян Лусине Акововна** (р. 1990) — кандидат физико-математических наук, доцент Департамента анализа данных и машинного обучения Финансового университета при Правительстве РФ

**Милованова Татьяна Александровна** (р. 1977) — кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры прикладной информатики и теории вероятностей Российского университета дружбы народов

**Мистрюков Андрей Вадимович** (р. 1988) — аспирант кафедры математической статистики факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

**Морозов Николай Викторович** (р. 1956) — старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Назарова Ирина Александровна** (р. 1966) — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Нуриев Виталий Александрович** (р. 1980) — кандидат филологических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Рождественский Юрий Владимирович** (р. 1952) — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Румовская София Борисовна** (р. 1985) — кандидат технических наук, научный сотрудник Калининградского филиала Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Рычихин Алексей Константинович** (р. 1995) — инженер Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Степченко Дмитрий Юрьевич** (р. 1973) — старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Степченко Юрий Афанасьевич** (р. 1951) — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Сучков Александр Павлович** (р. 1954) — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Читалов Дмитрий Иванович** (р. 1989) — младший научный сотрудник Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук

---

## Правила подготовки рукописей статей для публикации в журнале «Системы и средства информатики»

---

Журнал «Системы и средства информатики» публикует теоретические, обзорные и дискуссионные статьи, посвященные научным исследованиям и разработкам в области информационных технологий.

Журнал издается на русском языке. По специальному решению редколлегии отдельные статьи могут печататься на английском языке.

Тематика журнала охватывает следующие направления:

- информационно-телекоммуникационные системы и средства их построения;
- архитектура и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и сетей;
- методы и средства защиты информации.

1. В журнале печатаются статьи, содержащие результаты, ранее не опубликованные и не предназначенные к одновременной публикации в других изданиях.

Публикация предоставленной автором(ами) рукописи не должна нарушать положений глав 69, 70 раздела VII части IV Гражданского кодекса, которые определяют права на результаты интеллектуальной деятельности и средства индивидуализации, в том числе авторские права, в РФ.

Ответственность за нарушение авторских прав, в случае предъявления претензий к редакции журнала, несут авторы статей.

Направляя рукопись в редакцию, авторы сохраняют свои права на данную рукопись и при этом передают учредителям и редколлегии журнала неисключительные права на издание статьи на русском языке (или на языке статьи, если он отличен от русского) и на перевод ее на английский язык, а также на ее распространение в России и за рубежом. Каждый автор должен представить в редакцию подписанный с его стороны «Лицензионный договор о передаче неисключительных прав на использование произведения», текст которого размещен по адресу <http://www.ipiran.ru/publications/licence.doc>. Этот договор может быть представлен в бумажном (в 2-х экз.) или в электронном виде (отсканированная копия заполненного и подписанного документа).

Редколлегия вправе запросить у авторов экспертное заключение о возможности публикации представленной статьи в открытой печати.

2. К статье прилагаются данные автора (авторов) (см. п. 8). При наличии нескольких авторов указывается фамилия автора, ответственного за переписку с редакцией.
3. Редакция журнала осуществляет экспертизу присланных статей в соответствии с принятой в журнале процедурой рецензирования.

Возвращение рукописи на доработку не означает ее принятия к печати.

Доработанный вариант с ответом на замечания рецензента необходимо прислать в редакцию.

4. Решение редколлегии о публикации статьи или ее отклонении сообщается авторам. Редколлегия может также направить авторам текст рецензии на их статью. Дискуссия по поводу отклоненных статей не ведется.

5. Редактура статей высылается авторам для просмотра. Замечания к редакции должны быть присланы авторами в кратчайшие сроки.
6. Рукопись предоставляется в электронном виде в форматах MS WORD (.doc или .docx) или L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X (.tex), дополнительно — в формате .pdf, на дискете, лазерном диске или электронной почтой. Предоставление бумажной рукописи необязательно.
7. При подготовке рукописи в MS Word рекомендуется использовать следующие настройки.

Параметры страницы: формат — А4; ориентация — книжная; поля (см): внутри — 2,5, снаружи — 1,5, сверху и снизу — 2, от края до нижнего колонтитула — 1,3.

Основной текст: стиль — «Обычный», шрифт — Times New Roman, размер — 14 пунктов, абзацный отступ — 0,5 см, 1,5 интервала, выравнивание — по ширине.

Рекомендуемый объем рукописи — не свыше 10 страниц указанного формата. При превышении указанного объема редколлегия вправе потребовать от автора сокращения объема рукописи.

Сокращения слов, помимо стандартных, не допускаются. Допускается минимальное количество аббревиатур.

Все страницы рукописи нумеруются.

Шаблоны примеров оформления представлены в Интернете:

<http://www.ipiran.ru/publications/collected/template.doc>

8. Статья должна содержать следующую информацию на **русском и английском языках**:
  - название статьи;
  - Ф.И.О. авторов, на английском можно только имя и фамилию;
  - место работы, с указанием города и страны и электронного адреса каждого автора;
  - сведения об авторах, в соответствии с форматом, образцы которого представлены на страницах:  
[http://www.ipiran.ru/journal/collected/2019\\_29\\_03\\_rus/authors.asp](http://www.ipiran.ru/journal/collected/2019_29_03_rus/authors.asp) и  
[http://www.ipiran.ru/journal/collected/2019\\_29\\_03\\_eng/authors.asp](http://www.ipiran.ru/journal/collected/2019_29_03_eng/authors.asp);
  - аннотация (не менее 100 слов на каждом из языков). Аннотация — это краткое резюме работы, которое может публиковаться отдельно. Она является основным источником информации в информационных системах и базах данных. Английская аннотация должна быть оригинальной, может не быть дословным переводом русского текста и должна быть написана хорошим английским языком. В аннотации не должно быть ссылок на литературу и, по возможности, формул;
  - ключевые слова — желательно из принятых в мировой научно-технической литературе тематических тезаурусов. Предложения не могут быть ключевыми словами.
  - источники финансирования работы (ссылка на гранты, проекты, поддерживающие организации и т. п.).
9. Требования к спискам литературы.

Ссылки на литературу в тексте статьи нумеруются (в квадратных скобках) и располагаются в каждом из списков литературы в порядке первых упоминаний.



Списки литературы представляются в двух вариантах:

- (1) **Список литературы к русскоязычной части.** Русские и английские работы — на языке и в алфавите оригинала.
- (2) **References.** Русские работы и работы на других языках — в латинской транслитерации с переводом на английский язык; английские работы и работы на других языках — на языке оригинала.

Необходимо для составления списка “References” пользоваться размещенной на сайте <http://www.translit.net/ru/bgn/> бесплатной программой транслитерации русского текста в латиницу.

Список литературы “References” приводится полностью отдельным блоком, повторяя все позиции из списка литературы к русскоязычной части, независимо от того, имеются или нет в нем иностранные источники. Если в списке литературы к русскоязычной части есть ссылки на иностранные публикации, набранные латиницей, они полностью повторяются в списке “References”.

Примеры ссылок на различные виды публикаций в списке “References”:

**Описание статьи из журнала:**

Zhang, Z., and D. Zhu. 2008. Experimental research on the localized electrochemical micromachining. *Russ. J. Electrochem.* 44(8):926–930. doi:10.1134/S1023193508080077.

**Описание статьи из электронного журнала:**

Swaminathan, V., E. Lepkoswka-White, and B. P. Rao. 1999. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *JCMC* 5(2). Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (accessed April 28, 2011).

**Описание материалов конференций:**

Usmanov, T. S., A. A. Gusmanov, I. Z. Mullagalin, R. Ju. Muhametshina, A. N. Chervyakova, and A. V. Sveshnikov. 2007. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6-go Mezhdunarodnogo Simpoziuma “Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol’zovaniya i povyshe-niya neftegazootdachi”* [6th Symposium (International) “New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact” Proceedings]. Moscow. 267–272.

**Описание книги (монографии, сборники):**

Lindorf, L. S., and L. G. Mamikonians, eds. 1972. *Ekspluatatsiya turbogeneratorov s neposredstvennym okhlazhdeniem* [Operation of turbine generators with direct cooling]. Moscow: Energy Publs. 352 p.

**Описание переводной книги** (в списке литературы к русскоязычной части необходимо указать: / Пер. с англ. — после названия книги, а в конце ссылки указать оригинал книги в круглых скобках):

1. В русскоязычной части:

*Тимошенко С. П., Янг Д. Х., Уивер У.* Колебания в инженерном деле / Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1985. 472 с. (*Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W.* Vibration problems in engineering. — 4th ed. — New York, NY, USA: Wiley, 1974. 521 p.)

2. В англоязычной части:

Timoshenko, S. P., D. H. Young, and W. Weaver. 1974. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, NY: Wiley. 521 p.

**Описание неопубликованного документа:**

Latypov, A. R., M. M. Khasanov, and V. A. Baikov. 2004. Geology and production (NGT GiD). Certificate on official registration of the computer program No. 2004611198. (In Russian, unpubl.)

**Описание интернет-ресурса:**

Pravila tsitirovaniya istochnikov [Rules for the citing of sources]. Available at: <http://www.scribd.com/doc/1034528/> (accessed February 7, 2011).

**Описание диссертации или автореферата диссертации:**

Semenov, V. I. 2003. Matematicheskoe modelirovanie plazmy v sisteme kompaktny tor [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus]. Moscow. D.Sc. Diss. 272 p.

Kozhunova, O. S. 2009. Tekhnologiya razrabotki semanticheskogo slovary informatzionnogo monitoringa [Technology of development of semantic dictionary of information monitoring system]. PhD Thesis. Moscow: IPI RAN. 23 p.

**Описание ГОСТа:**

GOST 8.586.5-2005. 2007. Metodika vypolneniya izmereniy. Izmerenie raskhoda i kolichestva zhidkostey i gazov s pomoshch'yu standartnykh suzhayushchikh ustroystv [Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. Moscow: Standardinform Pubs. 10 p.

**Описание патента:**

Bolshakov, M. V., A. V. Kulakov, A. N. Lavrenov, and M. V. Palkin. 2006. Spособ orientirovaniya po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoy golovkoy samonavedeniya [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF No. 2280590.

10. Присланные в редакцию материалы авторам не возвращаются.
11. При отправке файлов по электронной почте просим придерживаться следующих правил:
  - указывать в поле subject (тема) название журнала и фамилию автора;
  - использовать attach (присоединение);
  - в состав электронной версии статьи должны входить: файл, содержащий текст статьи, и файл(ы), содержащий(е) иллюстрации.
12. Журнал «Системы и средства информатики» является некоммерческим изданием. Плата за публикацию не взимается, гонорар авторам не выплачивается.

**Адрес редакции журнала «Системы и средства информатики»:**

Москва 119333, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, ФИЦ ИУ РАН

Тел.: +7 (499) 135-86-92 Факс: +7 (495) 930-45-05

e-mail: [rust@ipiran.ru](mailto:rust@ipiran.ru) (Стригина Светлана Николаевна)

<http://www.ipiran.ru/journal/collected>

---

## Requirements for manuscripts submitted to Journal “Systems and Means of Informatics”

---

Journal “Systems and Means of Informatics” publishes theoretical, review, and discussion articles on the research and development in the field of information technology.

The journal is published in Russian. By a special decision of the editorial board, some articles can be published in English.

Topics covered include the following areas:

- information and communication systems and tools of their design;
  - architecture and software of computational complexes and networks; and
  - methods and tools of information protection.
1. The Journal publishes original articles which have not been published before and are not intended for simultaneous publication in other editions. An article submitted to the Journal must not violate the Copyright law. Sending the manuscript to the Editorial Board, the authors retain all rights of the owners of the manuscript and transfer the nonexclusive rights to publish the article in Russian (or the language of the article, if not Russian) and its distribution in Russia and abroad to the Founders and the Editorial Board. Authors should submit a letter to the Editorial Board in the following form:

***Agreement on the transfer of rights to publish:***

*“We, the undersigned authors of the manuscript “. . . ,” pass to the Founder and the Editorial Board of the Journal “Systems and Means of Informatics” the nonexclusive right to publish the manuscript of the article in Russian (or in English) in both print and electronic versions of the Journal. We affirm that this publication does not violate the Copyright of other persons or organizations.*

*Author(s) signature(s): (name(s), address(es), date).”*

This agreement should be submitted in paper form or in the form of a scanned copy (signed by the authors).

The Editorial Board has the right to request from the authors an official expert conclusion that the submitted article has no classified data prohibited for publication.

2. A submitted article should be attached with **the data on the author(s)** (see item 8). If there are several authors, the contact person should be indicated who is responsible for correspondence with the Editorial Board and other authors about revisions and final approval of the proofs.
3. The Editorial Board of the Journal examines the article according to the established reviewing procedure. If authors receive their article for correction after reviewing, it does not mean that the article is approved to be published. The corrected article should be sent to the Editorial Board for the subsequent review and approval.
4. The decision on the article publication or its rejection is communicated to the authors. The Editorial Board may also send the reviews on the submitted articles to the authors. Any discussion upon the rejected articles is not possible.
5. The edited articles will be sent to the authors for proofread. The comments of the authors to the edited text of the article should be sent to the Editorial Board as soon as possible.
6. The manuscript of the article should be presented electronically in the MS WORD (.doc or .docx) or L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X (.tex) formats, and additionally in the .pdf format. All documents

may be sent by e-mail or provided on a CD or diskette. A hard copy submission is not necessary.

7. The recommended typesetting instructions for manuscript.

Pages parameters: format A4, portrait orientation, document margins (cm): left — 2.5, right — 1.5, above — 2.0, below — 2.0, footer 1.3.

Text: font — Times New Roman, font size — 14, paragraph indent — 0.5, line spacing — 1.5, justified alignment.

The recommended manuscript size: not more than 10 pages of the specified format. If the specified size exceeded, the editorial board is entitled to require the author to reduce the manuscript.

Use only standard abbreviations. Avoid abbreviations in the title and abstract. The full term for which an abbreviation stands should precede its first use in the text unless it is a standard unit of measurement.

All pages of the manuscript should be numbered.

The templates for the manuscript typesetting are presented on site:

<http://www.ipiran.ru/publication/collected/template.doc>

8. Articles should enclose data both in **Russian and English**:

- title;
- author's name and surname;
- affiliation — organization, its address with ZIP code, city, country, and official e-mail address;
- data on authors according to the format (see site):  
[http://www.ipiran.ru/journal/collected/2019\\_29\\_03\\_rus/authors.asp](http://www.ipiran.ru/journal/collected/2019_29_03_rus/authors.asp) and  
[http://www.ipiran.ru/journal/collected/2019\\_29\\_03\\_eng/authors.asp](http://www.ipiran.ru/journal/collected/2019_29_03_eng/authors.asp);
- abstract (not less than 100 words) both in Russian and in English. Abstract is a short summary of the article that can be published separately. The abstract is the main source of information on the article and it could be included in leading information systems and data bases. The abstract in English has to be an original text and should not be an exact translation of the Russian one. Good English is required. In abstracts, avoid references and formulae.
- Indexing is performed on the basis of keywords. The use of keywords from the internationally accepted thematic Thesauri is recommended.  
Important! Keywords must not be sentences.
- Acknowledgments.

9. References. Russian references have to be presented both in English translation and in Latin transliteration (refer <http://www.translit.net/ru/bgn/>).

Please take into account the following examples of Russian references appearance:

**Article in journal:**

Zhang, Z., and D. Zhu. 2008. Experimental research on the localized electrochemical micromachining. *Russ. J. Electrochem.* 44(8):926–930. doi:10.1134/S1023193508080077.

**Journal article in electronic format:**

Swaminathan, V., E. Lepkoswka-White, and B. P. Rao. 1999. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic

exchange. *JCMC* 5(2). Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (accessed April 28, 2011).

**Conference proceedings:**

Usmanov, T. S., A. A. Gusmanov, I. Z. Mullagalin, R. Ju. Muhametshina, A. N. Chervyakova, and A. V. Sveshnikov. 2007. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6-go Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povyshe-niya neftegazootdachi"* [6th Symposium (International) "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact" Proceedings]. Moscow. 267–272.

**Books and other monographs:**

Lindorf, L. S., and L. G. Mamikonians, eds. 1972. *Ekspluatatsiya turbogenera-torov s neposredstvennym okhlazhdeniem* [Operation of turbine generators with direct cooling]. Moscow: Energy Publ. 352 p.

**Dissertation and Thesis:**

Kozhunova, O. S. 2009. Tekhnologiya razrabotki semanticheskogo slovarya informatsionnogo monitoringa [Technology of development of semantic dictionary of information monitoring system]. Moscow: IPI RAN. PhD Thesis. 23 p.

**State standards and patents:**

GOST 8.586.5-2005. 2007. Metodika vypolneniya izmereniy. Izmerenie raskhoda i kolichstva zhidkostey i gazov s pomoshch'yu standartnykh suzhayushchikh ustroystv [Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. M.: Standardinform Publ. 10 p.

Bolshakov, M. V., A. V. Kulakov, A. N. Lavrenov, and M. V. Palkin. 2006. Sposob orientirovaniya po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoy golovkoy samonavedeniya [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF No. 2280590.

References in Latin transcription are presented in the original language.

References in the text are numbered according to the order of their first appearance; the number is placed in square brackets. All items from the reference list should be cited.

10. Manuscripts and additional materials are not returned to Authors by the Editorial Board.
11. Submissions of files by e-mail must include:
  - the journal title and author's name in the "Subject" field;
  - an article and additional materials have to be attached using the "attach" function;
  - an electronic version of the article should contain the file with the text and a separate file with figures.
12. "System and Means of Informatics" journal is not a profit publication. There are no charges for the authors as well as there are no royalties.

**Editorial Board address:**

FRC CSC RAS, 44, block 2, Vavilov Str., Moscow 119333, Russia

Ph.: +7 (499) 135 86 92, Fax: +7 (495) 930 45 05

e-mail: [rust@ipiran.ru](mailto:rust@ipiran.ru) (to Svetlana Strigina)

[http://www.ipiran.ru/english/journal\\_systems.asp](http://www.ipiran.ru/english/journal_systems.asp)

# SYSTEMS AND MEANS OF INFORMATICS (SISTEMY I SREDSTVA INFORMATIKI)

SCIENTIFIC JOURNAL

Volume 30 No.3 Year 2020

Editor-in-Chief and Chair of Editorial Council

Academician I. A. Sokolov

## IN THIS ISSUE:

FLAWS DISTRIBUTION ESTIMATIONS AT MAXIMUM LOAD OF MULTIUSER NETWORK <i>Yu. E. Malashenko and I. A. Nazarova</i>	4
STATIONARY CHARACTERISTICS OF THE TWO-NODE MARKOVIAN TANDEM QUEUEING SYSTEM WITH GENERAL RENOVATION <i>L. A. Meykhanadzhyan, I. S. Zaryadov, and T. A. Milovanova</i>	14
ERGODICITY OF SINGLE SERVER QUEUES WITH PREEMPTIVE PRIORITY <i>A. V. Mistryukov</i>	32
SOLVING OF DIAGNOSTIC TASKS BY A DOCTOR <i>S. B. Rumovskaya and A. V. Kolesnikov</i>	39
SELF-TIMED PIPELINE IMMUNITY TO SOFT ERRORS IN ITS COMBINATIONAL PART <i>Yu. A. Stepchenkov, Yu. G. Diachenko, Yu. V. Rogdestvenski, N. V. Morozov, D. Yu. Stepchenkov, and D. Yu. Diachenko</i>	49
STATIC METHOD FOR STEGANOGRAPHIC EMBEDDING BASED ON LEAST SIGNIFICANT BIT <i>I. A. Krivosheev and M. A. Linnik</i>	56
THE TECHNIQUE ALLOWING FOR TEMPORAL ESTIMATION OF MACHINE TRANSLATION INSTABILITY <i>A. Yu. Egorova, I. M. Zatsman, M. G. Kruzhev, and V. A. Nuriev</i>	67
ORGANIZATION OF THE RESEARCH DATA LIFE CYCLE <i>A. K. Rychikhin and V. A. Nuriev</i>	81
THREATS AND RISKS OF IMPLEMENTING COMPLEX SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROGRAMS WITHIN THE PRIORITIES OF THE RUSSIAN SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT STRATEGY <i>A. A. Zatsarinny and A. P. Suchkov</i>	97