

# **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. Стемпковский  
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  
проф., д.г.-м.н. Р. Б. Сейфуль-Мулюков  
д.ф.-м.н. В. И. Синицын  
проф., д.т.н. И. Н. Синицын  
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**

профессор, д.г.-м.н. Р. Б. Сейфуль-Мулюков  
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» ВИНИТИ  
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 №1 Год 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

Фильтрация и экстраполяция процессов в миграционно-популяционных стохастических системах <b>И. Н. Сеницын, В. И. Сеницын</b>	4
Спецификации предметной области для решения задач с интенсивным использованием данных в нейрофизиологии <b>Н. А. Скворцов</b>	20
Байесовская классификация серий многомерных данных <b>М. П. Кривенко</b>	34
Порождение угроз в гетерогенных системах цифровой экономики <b>А. А. Грушо, Н. А. Грушо, А. В. Николаев, В. О. Писковский, В. В. Сенчило, Е. Е. Тимонина</b>	46
Метод идентификации конфликтов агентов в гибридных интеллектуальных многоагентных системах <b>С. В. Листопад, И. А. Кириков</b>	56
Проектирование информационного обеспечения цифровых двойников энергетических систем <b>С. П. Ковалёв</b>	66
Особенности многоядерности и многопоточности в сетевых процессорах <b>В. Б. Егоров</b>	82
Анализ влияния надежности оборудования ситуационных центров на информационную безопасность <b>А. А. Зацаринный, В. И. Королёв, А. И. Гаранин</b>	93
Описание динамики цифровой экономики с помощью электронной бухгалтерской книги <b>А. А. Грушо, А. А. Зацаринный, Е. Е. Тимонина</b>	108

# СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ

Том 30 №1 Год 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

Информационно-аналитический ситуационный центр стратегического планирования в области обеспечения национальной безопасности: факторы влияния <b>А. В. Босов, А. П. Сучков</b>	115
Информационные аспекты обеспечения безопасности на транспорте: онтология предметной области, модели и варианты использования <b>А. В. Борисов, А. В. Босов, Д. В. Жуков, А. В. Иванов, Д. В. Сушко</b>	126
Планирование жизненного цикла информационных ресурсов в (пост)грантовый период <b>А. К. Рычихин, В. А. Нуриев</b>	135
Структура и особенности генерализации в контексте функционирования темпоральной базы геоданных <b>Д. А. Никишин</b>	147
Автоматизированная оценка достоверности конкретно-исторических фактов <b>И. М. Адамович, О. И. Волков</b>	160
Разработка приложения с графическим интерфейсом пользователя для проведения стресс-анализа на базе решателя solidDisplacementFoam программной среды OpenFOAM <b>Д. И. Читалов</b>	171
Нормализованный экономический механизм: цифровые технологии поливалютного рынка <b>А. В. Ильин, В. Д. Ильин</b>	186
Об авторах	198
Правила подготовки рукописей статей	203
Requirements for manuscripts	207

## ФИЛЬТРАЦИЯ И ЭКСТРАПОЛЯЦИЯ ПРОЦЕССОВ В МИГРАЦИОННО-ПОПУЛЯЦИОННЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ\*

*И. Н. Синицын<sup>1</sup>, В. И. Синицын<sup>2</sup>*

**Аннотация:** Разработаны приближенные квазилинейные методы фильтрации и экстраполяции для миграционно-популяционных стохастических систем (МПСтС), приводимых к дифференциальным стохастическим системам (СтС) с аддитивными и параметрическими шумами, обобщающие соответствующие результаты для вольтерровских систем. В основу соответствующих алгоритмов положены условно-оптимальные линейные фильтры и экстраполяторы Пугачёва, а также методы нормальной аппроксимации и статистической линеаризации. Для широкополосных МПСтС сформулированы упрощенные подходы к синтезу квазилинейных фильтров путем замены МПСтС с аддитивными и параметрическими шумами на МПСтС с эквивалентными аддитивными шумами. В качестве примера рассмотрена трехмерная МПСтС с поляризованными аддитивными и параметрическими шумами в условиях нелинейных стохастических миграционных потоков. Рассмотрен ряд важных частных случаев алгоритмов фильтрации и экстраполяции. Для узкополосных МПСтС предложены методы, основанные на канонических и обобщенных канонических разложениях. Результаты допускают непосредственное обобщение на случай неполяризованных и автокоррелированных широкополосных шумов, а также дискретных и непрерывно-дискретных МПСтС. Важное значение имеют задачи нелинейного оценивания процессов и параметров МПСтС.

**Ключевые слова:** аналитическое моделирование; вольтерровская СтС; миграционно-популяционная СтС (МПСтС); нормальная аппроксимация; стохастическая линеаризация; стохастическая система (СтС); фильтрация и экстраполяция

**DOI:** 10.14357/08696527200101

### 1 Введение

В [1] на основе теории условно-оптимальной фильтрации и экстраполяции Пугачёва и результатов [2–4] разработаны два приближенных условно-оптимальных линейных метода фильтрации и экстраполяции нормальных широкополосных стохастических процессов (СтП) в вольтерровских СтС (ВСтС),

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РАН (проект АААА-А19-119082790038-2).

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

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

приводимых к дифференциальным СтС с аддитивными и линейными параметрическими шумами. Сформулированы подходы к синтезу линейных фильтров и экстраполяторов путем замены ВСтС эквивалентной ВСтС с аддитивными шумами. Приведены тестовые примеры.

Рассмотрим развитие [1] на случай условно-оптимального оценивания фильтрации и экстраполяции нормальных широкополосных СтП в МПСтС [5]. Статья содержит введение, заключение, три раздела и список литературы. В разд. 2 приведены необходимые сведения по теории линейного оценивания в линейных дифференциальных СтС с аддитивными и параметрическими шумами. Алгоритмы фильтрации и экстраполяции СтП в МПСтС изложены в разд. 3. В качестве иллюстрации рассмотрена задача фильтрации и экстраполяции нормальных СтП в трехмерной МПСтС. Заключение содержит основные выводы и возможные обобщения.

## 2 Фильтрация и экстраполяция в линейных дифференциальных стохастических системах с параметрическими шумами

### 2.1 Фильтрация

Линейные дифференциальные системы с параметрическими шумами служат подходящей математической моделью линейных динамических систем со случайными параметрами. На основе таких моделей СтС удается описать специальные эффекты возникновения стохастических параметрических колебаний, появления дрейфов и пр. В таких СтС применение линейного фильтра Калмана–Бьюси невозможно, поэтому целесообразно использовать линейные фильтры Пугачёва [5–7].

Следуя [5], рассмотрим две взаимосвязанные векторные дифференциальные системы стохастических дифференциальных уравнений Ито с негауссовскими в общем случае, белыми шумами:

$$dX_t = (aY_t + a_1X_t + a_0) dt + \left( c_{10} + \sum_{r=1}^{n_y} c_{1r}Y_r + \sum_{r=1}^{n_x} c_{1,n_y+r}X_r \right) dW; \quad (1)$$

$$dY_t = (bY_t + b_1X_t + b_0) dt + \left( c_{20} + \sum_{r=1}^{n_y} c_{2r}Y_r + \sum_{r=1}^{n_x} c_{2,n_y+r}X_r \right) dW, \quad (2)$$

где  $a_0, b_0, a, a_1, b, b_1$  и  $c_{ij}$  ( $i = 1, 2, j = 1, \dots, n_x$ ) — векторно-матричные функции  $t$ , не зависящие от вектора состояния  $X_t = [X_1 \dots X_{n_x}]^T$  и вектора наблюдения  $Y_t = [Y_1 \dots Y_{n_y}]^T$ . Класс допустимых фильтров Пугачёва определим линейным уравнением:

$$d\hat{X}_t = (aY_t + a_1\hat{X}_t + a_0) dt + \beta_t [dY_t - (bY_t + b_1\hat{X}_t + b_0) dt]. \quad (3)$$

Для определения  $\beta_t$  в (3) необходимо найти математическое ожидание  $m_t$  и ковариационную матрицу  $K_t$  случайного вектора  $Q_t = [X_1 \cdots \hat{X}_{n_x} Y_1 \cdots Y_{n_y}]^T$  и ковариационную матрицу  $R_t$  ошибки  $\tilde{X}_t = \hat{X}_t - X_t$ . Для этого воспользуемся корреляционными уравнениями. Эти уравнения в данном случае имеют вид:

$$\dot{m}_t = \bar{a}m_t + \bar{a}_0; \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \dot{K}_t = \bar{a}K_t + K_t\bar{a}^T + c_0\nu c_0^T + \sum_{r=1}^{n_y+n_x} \left( c_0\nu c_r^T + c_r\nu c_0^T \right) m_r + \\ + \sum_{r,s=1}^{n_y+n_x} c_r\nu c_s^T (m_r m_s + k_{rs}), \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} \bar{a} = \begin{bmatrix} b & b_1 \\ a & a_1 \end{bmatrix}; \quad \bar{a}_0 = \begin{bmatrix} b_0 \\ a_0 \end{bmatrix}; \quad c_0 = \begin{bmatrix} c_{10} \\ a_{20} \end{bmatrix}; \\ c_r = \begin{bmatrix} c_{2r} \\ c_{1r} \end{bmatrix} \quad (r = 0, 1, \dots, n_y + n_x). \end{aligned}$$

Уравнения (4) и (5) с соответствующими начальными условиями определяют все элементы  $m_r$  и  $k_{rs}$  матрицы-столбца  $m_t$  и матрицы  $K_t$  ( $r, s = 1, \dots, n_y + n_x$ ).

Уравнение для матрицы ошибки  $\tilde{X}_t$  фильтрации  $R_t$  определяется матричным уравнением Риккати:

$$\begin{aligned} \dot{R}_t = a_1 R_t + R_t a_1^T - \left[ R_t b_1^T + \left( c_{10} + \sum_{r=1}^{n_y+n_x} c_{1r} m_r \right) \nu \left( c_{20}^T + \sum_{r=1}^{n_y+n_x} c_{2r}^T m_r \right) + \right. \\ + \sum_{r,s=1}^{n_y+n_x} c_{1r} \nu c_{2s}^T k_{rs} \left. \right] \kappa_{11}^{-1} \left[ b_1 R_t + \left( c_{20} + \sum_{r=1}^{n_y+n_x} c_{2r} m_r \right) \nu \left( c_{10}^T + \sum_{r=1}^{n_y+n_x} c_{1r}^T m_r \right) + \right. \\ + \sum_{r,s=1}^{n_y+n_x} c_{2r} \nu c_{1s}^T k_{rs} \left. \right] + \left( c_{10} + \sum_{r=1}^{n_x+n_y} c_{1r} m_r \right) \nu \left( c_{10}^T + \sum_{r=1}^{n_x+n_y} c_{1r}^T m_r \right) + \\ + \sum_{r,s=1}^{n_y+n_x} c_{1r} \nu c_{1s}^T k_{rs}. \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь  $\kappa_{11}$  определяется формулой:

$$\kappa_{11} = \left( c_{20} + \sum_{r=1}^{n_y+n_x} c_{2r} m_r \right) \nu \left( c_{20}^T + \sum_{r=1}^{n_y+n_x} c_{2r}^T m_r \right) + \sum_{r=1}^{n_y+n_x} c_{2r} \nu c_{2s}^T k_{rs}; \quad (7)$$

$W = W(t)$  — векторный СтП с независимыми приращениями с нулевым математическим ожиданием и конечной ковариационной функцией

$$k_w(t_1, t_2) = k(\min(t_1, t_2)), \quad k(t) = k(t_0) + \int_{t_0}^t \nu(\tau) d\tau,$$

где  $\nu = \nu(t)$  — матрица интенсивностей СтП  $W = W(t)$ .

Таким образом, имеет место следующий результат.

**Теорема 2.1.** Пусть векторный СтП  $[X_t^T Y_t^T]^T$  определяется уравнениями линейной дифференциальной негауссовской СтС с параметрическими шумами (1) и (2) и обладает конечными одномерными моментами. Тогда уравнение линейного фильтра Пугачёва имеет вид (3). После нахождения вероятностных моментов первого и второго порядка  $m_r$  и  $k_{r,s}$  ( $r, s = 1, \dots, n_y + n_x$ ) и ковариационной матрицы ошибки фильтрации  $R_t$  путем интегрирования уравнений (4)–(6) оптимальный коэффициент  $\beta_t$  в уравнении фильтра (3) определяется по формуле:

$$\beta_t = \left\{ R_t b_1^T + \left( c_{10} + \sum_{r=1}^{n_y+n_x} c_{1r} m_r \right) \nu \left( c_{20}^T + \sum_{r=1}^{n_y+n_x} c_{2r}^T m_r \right) + \sum_{r,s=1}^{n_y+n_x} c_{1r} \nu c_{2s}^T k_{rs} \right\} \kappa_{11}^{-1}. \quad (8)$$

## 2.2 Экстраполяция

Теперь рассмотрим задачу условно-оптимальной линейной экстраполяции состояния системы с параметрическими шумами для независимых винеровских шумов  $W_1$  и  $W_2$  в уравнениях состояния и наблюдения

$$\left. \begin{aligned} dX_t &= (a_1 X_t + a_0) dt + \left( c_{10} + \sum_{r=1}^{n_x} c_{1, n_y+r} X_r \right) dW_1; \\ dY_t &= (bY_t + b_1 X_t + b_0) dt + \left( c_{20} + \sum_{r=1}^{n_y} c_{2r} Y_r + \sum_{r=1}^{n_x} c_{2, n_y+r} X_r \right) dW_2, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где  $W_1 = W_1(t)$  и  $W_2 = W_2(t)$  — независимые процессы с независимыми приращениями, приняв уравнение экстраполятора Пугачёва в следующем виде:

$$d\hat{X}_t = \left[ a_1(t + \Delta) \hat{X}_t + a_0(t + \Delta) \right] + \beta_t \left[ dY_t - \left( bY_t + b_1 q_t^{-1} \hat{X}_t + b_0 - b_1 q_t^{-1} h_t \right) dt \right]. \quad (10)$$

В [5, п. 6.1.3] получен следующий результат.

**Теорема 2.2.** Пусть векторный СтП  $[X_t^T Y_t^T]^T$  определяется уравнениями линейной дифференциальной негауссовской СтС с параметрическими шумами (9) и обладает конечными одно- и двумерными моментами. Тогда уравнения непрерывного линейного экстраполятора Пугачёва имеют вид (10). Необходимые для вычисления  $\kappa_{11}$  по формуле (7) и  $\beta_t$  по формуле (8) моменты второго порядка можно найти из уравнений (4) и (5) для составного вектора  $[Y_t^T X_t^T \hat{X}_t^T]^T$ . Роль матриц  $c_{1r}$  и  $c_{2r}$  играют матрицы  $[0 \ c_{1r}]$  и  $[c_{2r} \ 0]$ , а матрица  $\nu$  диагональна.

Найденный экстраполятор Пугачёва можно представить в виде последовательного соединения фильтра Пугачёва, усилителя с коэффициентом усиления  $\varepsilon_t = u(t + \Delta, t)$  и сумматора, вводящего неслучайное слагаемое  $h_t = h(t)$ , т. е. что

$$\dot{\hat{X}}_t = q_t \hat{X}_t + h_t.$$

Здесь  $\hat{X}_t$  — выходной сигнал условно-оптимального фильтра, или условно-оптимальная оценка текущего состояния системы  $X_t$ ;  $q_t$  и  $h_t$  определяются из уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{h}_t &= a_0(t + \Delta) - q_t a_0 + a_1(t + \Delta) h_t; \\ \dot{q}_t &= a_1(t + \Delta) q_t - q_t a_1. \end{aligned}$$

Тогда уравнение условно-оптимального экстраполятора Пугачёва будет иметь вид:

$$\begin{aligned} d\hat{X}_t &= q_t \left( a_1 \hat{X}_t + a_0 \right) dt + q_t \beta_t \left[ dY_t - \left( bY_t + b_1 \hat{X}_t + b_0 \right) dt \right] = \\ &= \left[ a_1(t + \Delta) q_t \hat{X}_t - q_t a_1 \hat{X}_t + a_0(t + \Delta) - q_t a_0 + a_1(t + \Delta) h_t \right] dt = \\ &= \left[ a_1(t + \Delta) \left( q_t \hat{X}_t + h_t \right) + a_0(t + \Delta) \right] dt + q_t \beta_t \left[ dY_t - \left( b\hat{X}_t + b_0 \right) dt \right]. \end{aligned}$$

В условиях теоремы 2.2 точность экстраполяции вычисляется путем интегрирования следующего уравнения:

$$\begin{aligned} \dot{R}_t &= a_1(t + \Delta) R_t + R_t a_1(t + \Delta)^T - \\ &- \beta_t \left[ \left( c_{20} + \sum_{r=1}^{n_y+n_x} c_{2r} m_r \right) \nu_1 \left( c_{20}^T + \sum_{r=1}^{n_y+n_x} c_{2r}^T m_r \right) + \sum_{r=1}^{n_y+n_x} c_{2r} \nu_1 c_{2s}^T k_{rs} \right] \beta_t^T + \\ &+ \left[ c_{10}(t + \Delta) + \sum_{r=n_y+1}^{n_y+n_x} c_{1r}(t + \Delta) m_r(t + \Delta) \right] \nu_2(t + \Delta) \times \end{aligned}$$



$$\times \left[ c_{10}(t + \Delta)^T + \sum_{r=n_y+1}^{n_y+1} c_{1r}(t + \Delta)^T m_r(t + \Delta) \right] + \\ + \sum_{s=m+1}^{n_y+n_x} c_{1r}(t + \Delta) \nu_2(t + \Delta) c_{1s}(t + \Delta)^T k_{rs}.$$

Будем называть шумы  $V = \dot{W}$ ,  $V_1 = \dot{W}_1$  и  $V_2 = \dot{W}_2$  в теоремах 2.1 и 2.2 поляризованными, если они выражаются через один скалярный белый шум  $V_0$  интенсивности  $\nu_0 = \nu_0(t)$ :

$$V = \lambda V_0; \quad V_1 = \lambda_1 V_0; \quad V_2 = \lambda_2 V_0.$$

Для однородных шумов матрицы интенсивностей диагональны, а для изотропных диагональны и содержат одинаковые элементы.

### 3 Алгоритмы фильтрации и экстраполяции

#### 3.1 Уравнения миграционно-популяционных стохастических систем и систем наблюдения

Как показано в [8], наиболее общей моделью миграционно-популяционных систем (МПС) является многомерная модель, когда  $k$  видов мигрирует в  $2k$  ареалов в условиях наличия  $k$  конкурентов:

$$\dot{x}_i = \begin{cases} x_i \left( \alpha_i - \sum_{\substack{j=1, \\ j \neq 2l, l \leq n}}^n p_{ij}^i x_j \right) + \beta_{i+1} F_{i+1}(x_i, t) x_{i+1} - \gamma_i F_i(x_i, t) x_i, & i = 1, 3, \dots, \frac{2n}{3} - 1; \\ \alpha_i x_i - p_{ii} x_i^2 - \beta_{i-1} F_{i-1}(x_i, t) x_i + \gamma_i F_i(x_i, t) x_{i-1}, & i = 2, 4, \dots, \frac{2n}{3}; \\ x_i \left( \alpha_i - \sum_{\substack{j=1, \\ j \neq 2l, l \leq n}}^n p_{ij}^i x_j \right), & i = \frac{2n}{3} + 1, \dots, n. \end{cases} \quad (11)$$

Здесь приняты следующие допущения и обозначения. Первые  $2n/3$  уравнений описывают динамику популяций численностей  $x_i$ , изучаемую в условиях взаимодействия с конкурирующими популяциями в  $k$  ареалах ( $i = 1, 3, \dots, 2n/3 - 1$ );

вторые — вне конкуренции в  $k$  ареалах ( $i = 2, 4, \dots, 2n/3$ ). При  $i = 2n/3 + 1, \dots, n$  уравнения описывают динамику популяций-конкурентов. В (11)  $\alpha_i$  — коэффициенты естественного прироста,  $p_{ii}$  — коэффициенты естественной убыли,  $p_{ij}$  ( $i \neq j$ ) — коэффициенты конкуренции, характеризующие влияние взаимодействия между популяциями на скорость роста,  $\beta_i$  и  $\gamma_i$  — коэффициенты миграции. Размерность модели (11) определяется равенством  $n = 3k$ , причем  $n \geq 3$ . Число  $l$  при знаке суммирования натуральное,  $\alpha_i, p_{ij}, \beta_i$  и  $\gamma_i$  — положительные постоянные, функции  $F_i(x_i, t)$  непрерывны и определены в неотрицательном ортанте фазового пространства.

Основываясь на МПС (11), предположим, что определяющие миграционно-популяционные параметры  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  и  $p_{ij}$  претерпевают стохастические параметрические возмущения (шумы) так, что имеют место соотношения:

$$\alpha_i = \alpha_{i0} + \sigma_i^\alpha \Lambda_i^\alpha; \quad \beta_i = \beta_{i0} + \sigma_i^\beta \Lambda_i^\beta; \quad \gamma_i = \gamma_{i0} + \sigma_i^\gamma \Lambda_i^\gamma; \quad p_{ij} = p_{ij0} + \sigma_{ij}^p \Lambda_{ij}^p.$$

Кроме того, в правых частях (11) учтем аддитивные стохастические шумы

$$\xi_i = \xi_{i0} + \sigma_i^\xi \Lambda_i^\xi; \quad \eta_i = \eta_{i0} + \sigma_i^\eta \Lambda_i^\eta; \quad \zeta_i = \zeta_{i0} + \sigma_i^\zeta \Lambda_i^\zeta.$$

Здесь  $\alpha_{i0}, \beta_{i0}, \gamma_{i0}$  и  $p_{i0}$  — постоянные числа;  $\xi_{i0}, \eta_{i0}$  и  $\zeta_{i0}$  — случайные числа с известными распределениями;  $\sigma_i^\alpha, \sigma_i^\beta, \sigma_i^\gamma, \sigma_{ij}^p, \sigma_i^\xi, \sigma_i^\eta$  и  $\sigma_i^\zeta$  — детерминированные величины при стохастических возмущениях  $\Lambda = \Lambda(t)$  с соответствующими индексами. В результате многомерную МПСТС можно представить в следующем виде:

$$\dot{X}_i = \begin{cases} X_i \left[ \alpha_{i0} + \sigma_i^\alpha \Lambda_i^\alpha - \sum_{i,j} (p_{ij0}^i + \sigma_{ij}^p \Lambda_{ij}^p) X_j \right] + \\ \quad + \left( \beta_{i+1,0} + \sigma_{i+1}^\beta \Lambda_{i+1}^\beta \right) F_{i+1}(X_i, t) X_{i+1} - \\ \quad - (\gamma_{i0} + \sigma_i^\gamma \Lambda_i^\gamma) F_i(X_i, t) X_{i-2} + \xi_{i0} + \sigma_i^\xi \Lambda_i^\xi, \\ \quad \quad \quad j \neq 2l, l \leq \frac{n}{2}, i = 1, 3, \dots, \frac{2n}{3} - 1; \\ \\ (\alpha_{i0} + \sigma_i^\alpha \Lambda_i^\alpha) X_i - (p_{ii,0} + \sigma_{ii}^p \Lambda_{ii}^p) X_i^2 - \\ \quad - \left( \beta_{i-1,0} + \sigma_{i-1}^\beta \Lambda_{i-1}^\beta \right) F_{i-1}(X_i, t) X_i + \\ \quad + (\gamma_{i0} + \sigma_i^\gamma \Lambda_i^\gamma) F_i(X_i, t) X_i + \eta_{i0} + \sigma_i^\eta \Lambda_i^\eta, \quad i = 2, 4, \dots, \frac{2n}{3}; \\ \\ X_i \left[ \alpha_{i0} + \sigma_i^\alpha \Lambda_i^\alpha - \sum_{i,j} \left( p_{ij0}^i + \sigma_{ij}^p \Lambda_{ij}^p \right) X_j \right] + \zeta_{i0} + \sigma_i^\zeta \Lambda_i^\zeta, \\ \quad \quad \quad j \neq 2l, l \leq n, i = \frac{2n}{3} + 1, \dots, n, \end{cases} \quad (12)$$

где через  $X_i$  обозначены СтП, определяемые уравнениями (12) при случайных начальных условиях и возмущениях  $\Lambda(t)$ . Будем аппроксимировать возмущения  $\Lambda(t)$  широкополосными СтП типа белого шума или автокоррелированного процесса, связанного с белым шумом уравнением формирующего фильтра [5–7].

Далее обозначим через  $Y_t^{(l)}$  ( $l = 1, 2, 3$ ) векторы наблюдений переменных  $X_t^{(l)}$  ( $l = 1, 2, 3$ ), связанные между собой линейными дифференциальными уравнениями вида (2), где  $Y_t = \left[ Y_t^{(1)\top} Y_t^{(2)\top} Y_t^{(3)\top} \right]^\top$  ( $\dim Y_t = n_y$ ) — полный вектор наблюдений;  $b, b_1, b_0, c_{20}, c_{2r}$  и  $c_{2, n_y+r}$  — детерминированные векторно-матричные функции, зависящие от времени;  $V$  — вектор белых, в общем случае негауссовских, шумов с известной одномерной характеристической функцией (х.ф.)  $h_1 = h_1(\rho; t)$  и логарифмической производной  $\chi(\rho; t) = (\partial/\partial t) \ln h_1(\rho; t)$ . Для гауссовских шумов задаются соответствующие матрицы интенсивностей  $\nu = \nu(t)$ .

В результате придем к следующим системам уравнений МПСтС:

$$\dot{X}_i = \begin{cases} X_i \left[ \alpha_{i0} + \sigma_i^\alpha \lambda_i^\alpha V - \sum_{i,j} (p_{ij,0}^i + \sigma_{ij}^p \lambda_{ij}^p \delta_{ij} V) X_j \right] + \\ \quad + \left( \beta_{i+1,0} + \sigma_{i+1}^\beta \lambda_{i+1}^\beta V \right) F_{i+1}(X_j; t) X_{i+1} - \\ \quad - (\gamma_{i0} + \sigma_i^\gamma \lambda_i^\gamma V) F_i(X_i, t) X_{i-2} + \xi_{i0} + \sigma_i^\xi \Lambda_i^\xi V, \\ \quad \quad \quad j \neq 2l, \quad l \leq \frac{n}{2}, \quad i = 1, 3, \dots, \frac{2n}{3} - 1; \\ X_i (\alpha_{i0} + \sigma_i^\alpha \lambda_i^\alpha V) - (p_{ii,0} + \sigma_{ii}^p \lambda_{ii}^p V) X_i^2 - \\ \quad - \left( \beta_{i-1,0} + \sigma_{i-1}^\beta \lambda_{i-1}^\beta V \right) F_{i-1}(X_i, t) X_i + \\ \quad + (\gamma_{i0} + \sigma_i^\gamma \lambda_i^\gamma V) F_i(X_i, t) X_i + \eta_{i0} + \sigma_i^\eta \lambda_i^\eta V, \quad i = 2, 4, \dots, \frac{2n}{3}; \\ X_i \left[ \alpha_{i0} + \sigma_i^\alpha \lambda_i^\alpha V - \sum_{i,j} (p_{ij,0}^i + \sigma_{ij}^p \lambda_{ij}^p \delta_{ij} V) X_j \right] + \zeta_{i0} + \sigma_i^\zeta \Lambda_i^\zeta V, \\ \quad \quad \quad j \neq 2l, \quad l \leq n, \quad i = \frac{2n}{3} + 1, \dots, n. \end{cases} \quad (13)$$

Здесь введены обозначения:  $\Lambda_i^\alpha = \lambda_i^\alpha V$ ,  $\Lambda_{lh}^p = \lambda_{lh}^p \delta_{lh}$ , а  $\delta_{lh}$  — функция Кронекера. Таким образом, в случае поляризованных шумов уравнения МПСтС имеют вид (13) вместе с соответствующими начальными условиями.

Уравнения (13) можно привести к виду (1) при следующих допущениях:

- (1) векторные шумы  $\Lambda_i$ ,  $\Lambda_i = \lambda_i V$  с интенсивностями  $\nu = \nu(t)$ , а матричные шумы —  $\Lambda_{ij} = \delta_{ij} V$ ;

- (2) нелинейные функции  $F_i = F_i(X_i)$  и  $F_j X_i = F_j(X_i, X_j)X_i$  допускают статистическую линеаризацию по известным формулам [5, 6]:

$$F_i \approx \tilde{\Phi}_{i0}^F + \Phi_{i1}^F X_i;$$

$$F_j X_i \approx \tilde{\Phi}_{j0}^{FX} + \Phi_{jii}^{FX} X_i + \Phi_{jjj}^{FX} X_j;$$

- (3) выполнены известные достаточные условия существования двумерного распределения [5, 6];  
 (4) дополнительно учтем члены, определяющие воздействие системы наблюдения на МПСтС.

### 3.2 Алгоритм фильтрации для поляризованных шумов

Уравнения (13) совместно с уравнениями наблюдения приводятся к следующему виду:

$$\dot{X}_t = a^{\exists} Y_t + a_1^{\exists} X_t + a_0^{\exists} + \left( c_{10}^{\exists} + \sum_{r=1}^{n_y} c_{1r}^{\exists} Y_r + \sum_{r=1}^{n_x} c_{1r, n_y + n_x + r}^{\exists} X_r \right) V; \quad (14)$$

$$\dot{Y}_t = b Y_t + b_1 X_t + b_0 + \left( c_{20} + \sum_{r=1}^{n_y} c_{2r} Y_r + \sum_{r=1}^{n_x} c_{2r, n_y + n_x + r} X_r \right) V. \quad (15)$$

Входящие в (14) количества с индексом «э» (эффективные) зависят от математических ожиданий, дисперсий и ковариаций переменных  $X_t$  и  $Y_t$ . Соответствующие фильтрационные уравнения определяются теоремой 2.1. Имеет место утверждение.

**Утверждение 3.1.** Пусть МПСтС (13) при условиях (1)–(4) полностью наблюдаема и приведена к виду (14), (15). Тогда алгоритм фильтрации определяется теоремой 2.1 при  $a = a^{\exists}$ ,  $a_1 = a_1^{\exists}$ ,  $a_0 = a_0^{\exists}$ ,  $c_{10} = c_{10}^{\exists}$ ,  $c_{1r} = c_{1r}^{\exists}$  и  $c_{1, n_y + n_x + r} = c_{1, n_y + n_x + r}^{\exists}$ .

### 3.3 Алгоритм экстраполяции для поляризованных шумов

В этом случае эквивалентные уравнения МПСтС имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \dot{X}_t &= a_1^{\exists} X_t + a_0^{\exists} + \left( c_{10}^{\exists} + \sum_{r=1}^{n_y} c_{1, n_y + r}^{\exists} X_r \right) V_1; \\ \dot{Y}_t &= b Y_t + b_1 X_t + \left( c_{20} + \sum_{r=1}^{n_y} c_{2r} Y_r + \sum_{r=1}^{n_x} c_{2, n_y + r} X_r \right) V_2. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Тогда для уравнений (16) при условиях (1)–(4) алгоритм экстраполяции определяется теоремой 2.2 (утверждение 3.2).

### 3.4 Критерии эквивалентности

Полученные алгоритмы в общем случае обладают значительными вычислительными трудностями, в особенности для реализации в режиме реального времени. При условии аддитивности шумов в уравнениях наблюдения определенный практический интерес имеет задача синтеза упрощенных фильтров и экстраполяторов путем замены параметрических шумов в уравнениях МПС эквивалентными аддитивными. В таком случае в силу (5) критерии эквивалентности имеют вид:

$$c_0^y \nu^3 (c_0^y)^T = c_0 \nu c_0^T + \sum_{r=1}^{n_x+n_y} (c_0 \nu c_r + c_r \nu c_0^T) m_r + \sum_{r,s=1}^{n_x+n_y} c_r \nu c_s^T (m_r m_s + K_{rs}).$$

### 3.5 Применение метода канонических разложений

В случае, когда исходные уравнения МПССтС и системы наблюдений описываются уравнениями в терминах канонических разложений Пугачёва или обобщенных канонических разложений [7], применяются алгоритмы [4], реализуемые путем замены ковариационного оператора на билинейный функционал при расчетах координатных функций. При этом большие вычислительные преимущества открываются при использовании соответствующих вейвлет-методов. Такой подход в случае МПССтС с узкополосными шумами позволяет приводить к кардинальному снижению размерности задачи.

## 4 Пример

Следуя [8], рассмотрим трехмерный случай детерминированной МПС (4) при  $\beta = \gamma = \mu$ , когда исходные уравнения имеют вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= \alpha_1 x_1 - \rho_1 x_1^2 - q_1 x_1 x_3 + \mu x_1 (x_2 - x_1); \\ \dot{x}_2 &= \alpha_2 x_2 - \rho_2 x_2^2 + \mu x_2 (x_1 - x_2); \\ \dot{x}_3 &= \alpha_3 x_3 - \rho_3 x_3^2 - q_2 x_1 x_3. \end{aligned}$$

Пусть миграционный параметр представляет собой СтП вида  $\mu = \mu_0 + \sigma^\mu V$ , где  $V$  — скалярный белый шум интенсивности  $\nu$ . Кроме того, учтем аддитивные случайные возмущения  $\xi = \xi_0 + \sigma^\xi V$ ,  $\eta = \eta_0 + \sigma^\eta V$  и  $\zeta = \zeta_0 + \sigma^\zeta V$ . Тогда исходные векторные стохастические дифференциальные уравнения примут вид:

$$\dot{X} = A(X, t) + B(X, t)V, \quad (17)$$

где

$$\left. \begin{aligned}
 A = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \alpha_1 X_1 - \rho_1 X_1^2 - q_1 X_1 X_3 + \mu_0 (X_1 X_2 - X_1^2) + \xi_0 \\ \alpha_2 X_2 - \rho_2 X_2^2 + \mu_0 (X_1 X_2 - X_2^2) + \eta_0 \\ \alpha_3 X_3 - \rho_3 X_3^2 + q_2 X_1 X_3 + \zeta_0 \end{bmatrix} ; \\
 B = [B_1] &= \begin{bmatrix} \sigma^\xi + \sigma^\mu (X_1 X_2 - X_1^2) \\ \sigma^\eta + \sigma^\mu (X_1 X_2 - X_2^2) \\ \sigma^\zeta \end{bmatrix} .
 \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Как известно [5, 6], метод нормальной аппроксимации (МНА) для (17) дает соответствующие уравнения для математических ожиданий, дисперсий и ковариаций, записанные с точностью до линейных членов относительно  $D_i$  и  $K_{ij}$ . Подробный анализ этих уравнений для спектрально-корреляционной теории по МНА для МПСтС (17), (18) дан в [8]. Показано, что стохастичность гауссовских миграционных потоков проявляется следующим образом:

- (1) в уравнениях для математических ожиданий дополнительные члены явно зависят от дисперсий  $D_1$ ,  $D_2$  и  $D_3$  и ковариаций  $K_{12}$  и  $K_{13}$ , при этом ковариация  $K_{23}$  явно не влияет, причем для чисел  $\xi_0$ ,  $\eta_0$  и  $\zeta_0$ , отличных от нуля, возможна стабилизация математических ожиданий;
- (2) уравнения для дисперсий  $D_1$  и  $D_2$  и ковариации  $K_{12}$  явно зависят от интенсивности  $\nu$  флуктуации миграционного параметра  $\mu$ , в то же время уравнения для дисперсии  $D_3$  и ковариаций  $K_{13}$  и  $K_{23}$  явно не зависят от интенсивности  $\nu$ ;
- (3) в отличие от детерминированного случая возникают стационарные (регулярные, но с новыми эффективными значениями параметров) и нерегулярные стохастические флуктуации.

Проведем в (17) статистическую линеаризацию нелинейных функций по известным формулам [5, 6]:

$$\begin{aligned}
 X_i^2 &\approx D_i - m_i^2 + 2m_i X_i ; \\
 X_i X_j &\approx K_{ij} - m_i m_j + m_i X_i + m_j X_j ; \\
 X_i X_j - X_j^2 &\approx K_{ij} - m_i m_j - D_j + m_j^2 + m_j X_i + (m_i - 2m_j) X_j ; \\
 X_i X_j - X_i^2 &\approx K_{ij} - m_i m_j - D_i + m_i^2 + m_i X_j + (m_j - 2m_i) X_i .
 \end{aligned}$$

Далее учтем дополнительные члены  $aY_t$  и  $c_{1r}Y_r$ , учитывающие взаимодействие систем с наблюдениями. Тогда придем к уравнениям (14), введя следующие обозначения:

$$a_0^3 = \begin{bmatrix} a_{01}^3 \\ a_{02}^3 \\ a_{03}^3 \end{bmatrix} , \quad (19)$$

где

$$\begin{aligned} a_{01}^{\circledast} &= -\rho_1 (D_1 - m_1^2) - q_1 (K_{13} - m_1 m_3) + \\ &\quad + \mu_0 (K_{12} - D_1 + m_1^2 - m_1 m_2) + \xi_0, \\ a_{02}^{\circledast} &= -\rho_2 (D_2 - m_2^2) + \mu_0 (K_{12} - m_1 m_2 - D_2 + m_2^2) + \eta_0, \\ a_{03}^{\circledast} &= -\rho_3 (D_3 - m_3^2) - q_2 (K_{13} - m_1 m_3) + \zeta_0; \end{aligned}$$

$$a_1^{\circledast} = \begin{bmatrix} a_{11}^{\circledast} & a_{12}^{\circledast} & a_{13}^{\circledast} \\ a_{21}^{\circledast} & a_{22}^{\circledast} & a_{23}^{\circledast} \\ a_{31}^{\circledast} & a_{32}^{\circledast} & a_{33}^{\circledast} \end{bmatrix}, \quad (20)$$

где

$$\begin{aligned} a_{11}^{\circledast} &= \alpha_1 - 2m_1 \rho_1 - q_1 m_3 + \mu_0 (m_2 - 2m_1), \\ a_{12}^{\circledast} &= \mu_0 m_1, \quad a_{13}^{\circledast} = -q_1 m_1, \\ a_{21}^{\circledast} &= \mu_0 m_2, \quad a_{22}^{\circledast} = \alpha_2 - 2\rho_2 m_2 + \mu_0 (m_1 - 2m_2), \quad a_{23}^{\circledast} = 0, \\ a_{31}^{\circledast} &= -q_2 m_3, \quad a_{32}^{\circledast} = 0, \quad a_{33}^{\circledast} = \alpha_3 - 2m_3 \rho_3 - q_2 m_1; \end{aligned}$$

$$c_{10}^{\circledast} = \begin{bmatrix} c_{110}^{\circledast} \\ c_{120}^{\circledast} \\ c_{130}^{\circledast} \end{bmatrix}, \quad (21)$$

где

$$\begin{aligned} c_{110}^{\circledast} &= \sigma^\mu (K_{12} - D_1 + m_1^2 - m_1 m_2) + \sigma^\xi, \\ c_{120}^{\circledast} &= \sigma^\mu (K_{12} - D_2 + m_2^2 - m_1 m_2) \sigma^\eta, \quad c_{130}^{\circledast} = \sigma^\zeta; \end{aligned}$$

$$c_{14}^{\circledast} = \begin{bmatrix} c_{114}^{\circledast} \\ c_{124}^{\circledast} \\ c_{134}^{\circledast} \end{bmatrix}, \quad (22)$$

где

$$c_{114}^{\circledast} = \sigma^\mu (m_2 - 2m_1), \quad c_{124}^{\circledast} = \sigma^\mu m_2, \quad c_{134}^{\circledast} = 0;$$

$$c_{15}^{\circledast} = \begin{bmatrix} c_{115}^{\circledast} \\ c_{125}^{\circledast} \\ c_{135}^{\circledast} \end{bmatrix}, \quad (23)$$

где

$$c_{115}^{\circledast} = \sigma^\mu m_1, \quad c_{125}^{\circledast} = \sigma^\mu (m_1 - 2m_2), \quad c_{135}^{\circledast} = 0;$$

$$c_{16}^{\circledast} = \begin{bmatrix} c_{116}^{\circledast} \\ c_{126}^{\circledast} \\ c_{136}^{\circledast} \end{bmatrix}, \quad (24)$$

где

$$c_{116}^{\circledast} = c_{126}^{\circledast} = c_{136}^{\circledast} = 0.$$

В соответствии с теоремой 2.1 алгоритмы фильтрации определяются уравнениями (3)–(8) при условиях (19)–(24) (утверждение 4.1), а алгоритмы экстраполяции — утверждением 2.2 (утверждение 4.2).

Рассмотрим ряд интересных частных случаев.

1. Предположим, что в МПССтС имеют место только аддитивные гауссовские шумы с интенсивностью, равной  $\nu = \nu(t)$  ( $\sigma^\mu = 0$ ,  $\sigma^\xi, \sigma^\eta, \sigma^\zeta \neq 0$ ,  $c_{12} = 0$ ), а система наблюдения содержит только аддитивные шумы ( $c_{20} \neq 0$ ,  $c_{2r} = 0$ ,  $c_{r,ny+r} = 0$ ). Фильтр Калмана–Бьюси имеет вид [5]:

$$\dot{\hat{X}}_t = a_1 \hat{X}_t + a_0 + \beta_t \left[ \dot{Y}_t - (bY_t + b_1 \hat{X}_t + b_0) \right], \quad \hat{X}(t_0) = \hat{X}_0; \quad (25)$$

$$\dot{m}_t = \bar{a}m_t + \bar{a}_0, \quad m_{t_0} = m_0; \quad (26)$$

$$\dot{K}_t = \bar{a}K_t + K_t \bar{a}^T + c_0 \nu c_0^T, \quad K_{t_0} = K_0; \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \dot{R}_t = a_1 R_t + R_t a_1^T + c_{10} \nu c_{10}^T - \\ - \left( R_t b_1^T + c_{10} \nu c_{20}^T \right) \kappa_{11}^{-1} \left( b_1 R_t + c_{20} \nu c_{10}^T \right), \quad R_{t_0} = R_0; \end{aligned} \quad (28)$$

$$\kappa_{11} = c_{20} \nu c_{20}^T \neq 0; \quad (29)$$

$$\beta_t = \left( R_t b_1^T + c_{10} \nu c_{20}^T \right) \kappa_{11}^{-1}. \quad (30)$$

Здесь приняты следующие обозначения:

$$\bar{a} = \begin{bmatrix} b & b_1 \\ 0 & a_1 \end{bmatrix}; \quad a_0 = \begin{bmatrix} b_0 \\ a_0 \end{bmatrix}; \quad c_0 = \begin{bmatrix} c_{10} \\ c_{20} \end{bmatrix}. \quad (31)$$

Фильтр (25)–(30) реализуем только при условии (31). При этом исходная МПССтС может быть неустойчивой. Фильтр может работать в режиме реального времени на основе поступающей информации  $Z = \dot{Y}_t$ . При этом расчеты коэффициента усиления  $\beta_t$  могут быть проведены заранее путем интегрирования уравнения Риккати (28) для ошибки фильтрации  $R_t$ .

2. Согласно утверждению 3.2 получаем следующий алгоритм экстраполяции:

$$\dot{\hat{X}}_t = \left[ a_1(t + \Delta)(q_t \hat{X}_t + h_t) + a_0(t + \Delta) \right] + q_t \beta_t \left[ \dot{Y}_t - (b \hat{X}_t + b_0) \right];$$

$$\dot{h}_t = a_0(t + \Delta) - q_t a_0(t) + a_1(t + \Delta) h_t;$$

$$\dot{q}_t = a_1(t + \Delta) q_t - q_t a_1(t);$$

$$\begin{aligned} \dot{R}_t = a_1(t + \Delta) R_t + R_t a_1(t + \Delta)^T - \beta_t (c_{20} \nu_1 c_{20}^T) \beta_t^T + \\ + c_{10}(t + \Delta) \nu_2(t + \Delta) c_{10}(t + \Delta)^T \end{aligned}$$

при соответствующих начальных условиях.



3. Пользуясь выражением (21), приходим к приближенному условию возможности замены параметрического шума эквивалентным аддитивным:

$$\sigma_*^\xi = \sigma^\mu (K_{12} - D_1 + m_1^2 - m_1 m_2) ; \quad \sigma_*^\eta = \sigma^\mu (K_{12} - D_2 + m_2^2 - m_1 m_2) .$$

4. Приравнявая выражение (19) к нулю, приходим к следующим условиям стабилизации по математическим ожиданиям:

$$a_{10}^{\bar{3}} = -\rho_1 (D_1 - m_1^2) - q_1 (K_{13} - m_1 m_3) + \mu_0 \sigma_3^\xi + \xi_0 = 0 ;$$

$$a_{20}^{\bar{3}} = -\rho_2 (D_2 - m_2^2) + \mu_0 \sigma_3^\eta + \eta_0 = 0 ;$$

$$a_{30}^{\bar{3}} = -\rho_3 (D_3 - m_3^2) - q_2 (K_{13} - m_1 m_3) + \zeta_0 = 0 .$$

## 5 Заключение

Разработаны приближенные квазилинейные методы фильтрации и экстраполяции для МПСтС, приводимых к дифференциальным СтС с аддитивными и параметрическими шумами, обобщающие соответствующие результаты для вольтерровских систем [1].

Для широкополосных и узкополосных МПСтС сформулированы упрощенные подходы к синтезу квазилинейных фильтров путем замены МПСтС с аддитивными и параметрическими шумами на МПСтС с эквивалентными аддитивными шумами.

В качестве примера рассмотрена трехмерная МПСтС с поляризованными аддитивными и параметрическими шумами в условиях нелинейных стохастических миграционных потоков.

Результаты допускают непосредственное обобщение на случай неполяризованных и автокоррелированных широкополосных шумов, а также дискретных и непрерывно-дискретных МПСтС. Важное значение имеют задачи нелинейного оценивания процессов и параметров МПСтС.

## Литература

1. Сеницын И. Н., Сеницын В. И. Условно-оптимальное линейное оценивание нормальных процессов в вольтерровских стохастических системах // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 3. С. 16–28.
2. Сеницын И. Н., Сеницын В. И. Аналитическое моделирование нормальных процессов в вольтерровских стохастических системах // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 2. С. 4–19.
3. Сеницын И. Н., Сеницын В. И. Аналитическое моделирование распределений с инвариантной мерой в вольтерровских стохастических системах // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 3. С. 4–25.

4. *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.
5. *Синицын И. Н.* Фильтры Калмана и Пугачёва. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Логос, 2007. 776 с.
6. *Пугачёв В. С., Синицын И. Н.* Теория стохастических систем. — М.: Логос, 2000; 2004. 1000 с.
7. *Синицын И. Н.* Канонические представления случайных функций и их применение в задачах компьютерной поддержки научных исследований. — М.: Торус Пресс, 2009. 768 с.
8. *Синицын И. Н., Дружинина О. В., Масина О. Н.* Аналитическое моделирование и анализ устойчивости нелинейных широкополосных миграционных потоков // Нелинейный мир, 2018. Т. 16. № 3. С. 3–16.

*Поступила в редакцию 17.09.19*

---

---

## FILTERING AND EXTRAPOLATION IN MIGRATIONAL-POPULATIONAL STOCHASTIC SYSTEMS

*I. N. Sinitsyn and V. I. Sinitsyn*

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:** Approximate quasi-linear filtering and extrapolation methods for migrational-populational stochastic systems (MPStS) are developed. Volterra StS are the special case of MPStS. The MPStS are described by nonlinear differential Ito stochastic equations with additive and parametric noises. Corresponding algorithms are based on the conditionally-optimal linear Pugachev filtering and extrapolation theory. For wide-band noises, simplified approaches for filters synthesis are based on interchange of parametric noises by the additional ones. For narrow-band noise, the methods of Pugachev canonical expansions and generalized canonical expansions corresponding algorithms are proposed. As the test example, three-dimensional differential MPStS with nonlinear stochastic migrational flow with polarized additive and parametric noises is considered. Some special cases are treated. Basic generalizations: (i) nonpolarized and autocorrelated noises in discrete and mixed continuous-discrete MPStS; and (ii) nonlinear filtering and extrapolation in MPStS.

**Keywords:** analytical modeling; filtering and extrapolation; migrational-populational StS (MPStS); normal approximation method (NAM); Pugachev conditionally-optimal filtering and extrapolation; statistical linearization method; stochastic system (StS); Volterra StS

**DOI:** 10.14357/08696527200101

## Acknowledgments

The research was supported by the Russian Academy of Sciences (project AAAA-A19-119082790038-2).

## References

1. Sinitsyn, I. N., and V. I. Sinitsyn. 2019. Uslovno-optimal'noe lineynoe otsenivanie normal'nykh protsessov v vol'terrovskikh stokhasticheskikh sistemakh [Conditionally optimal linear estimation of normal processes in Volterra stochastic systems]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(3):16–28.
2. Sinitsyn, I. N., and V. I. Sinitsyn. 2018. Analiticheskoe modelirovanie normal'nykh protsessov v vol'terrovskikh stokhasticheskikh sistemakh [Analytical modeling of normal processes in Volterra stochastic systems]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 28(2):4–19.
3. Sinitsyn, I. N., and V. I. Sinitsyn. 2018. Analiticheskoe modelirovanie raspredeleniy s invariantnoy meroy v vol'terrovskikh stokhasticheskikh sistemakh [Analytical modeling of distributions with invariant measure in Volterra stochastic systems]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 28(3):4–25.
4. Sinitsyn, I. N., and V. I. Sinitsyn. 2019. Analiticheskoe modelirovanie protsessov v vol'terrovskikh stokhasticheskikh sistemakh metodom kanonicheskikh razlozheniy [Analytical modeling of processes in Volterra stochastic systems by the canonical expansions method]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(1):109–127.
5. Sinitsyn, I. N. 2007. Fil'try Kalmana i Pugacheva [Kalman and Pugachev filters]. Moscow: Logos. 776 p.
6. Pugachev V. S., and I. N. Sinitsyn. 2001. *Stochastic systems. Theory and applications*. Singapore: World Scientific. 908 p.
7. Sinitsyn, I. N. 2009. Kanonicheskie predstavleniya sluchaynykh funktsiy i ikh primeneniye v zadachakh komp'yuternoy podderzhki nauchnykh issledovaniy [Canonical expansions of random functions and their applications in computer-aided support]. Moscow: Torus Press. 768 p.
8. Sinitsyn, I. N., O. V. Druzhinina, and O. N. Masina. 2018. Analiticheskoe modelirovanie i analiz ustoychivosti nelineynykh shirokopolosnykh migratsionnykh potokov [Analytical modeling and stability analysis of nonlinear broadband migration flows]. *Nelineynyy mir* [Nonlinear World] 16(3):3–16.

Received September 17, 2019

## Contributors

**Sinitsyn Igor N.** (b. 1940) — Doctor of Science in technology, professor, Honored scientist of RF, 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; sinitsin@dol.ru

**Sinitsyn Vladimir I.** (b. 1968) — Doctor of Science in physics and mathematics, associate 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; VSinitsyn@ipiran.ru

## СПЕЦИФИКАЦИИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ С ИНТЕНСИВНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ В НЕЙРОФИЗИОЛОГИИ\*

*Н. А. Скворцов*<sup>1</sup>

**Аннотация:** В нейрофизиологии как науке с интенсивным использованием данных возникает необходимость подробной спецификации данных с точки зрения предметной области. Такая спецификация нужна для организации семантического поиска по ним, формирования концептуальных схем для однородного представления исходных данных и для достижения интероперабельности при решении исследовательских задач с использованием нейрофизиологических данных специалистами в предметной области. Известные онтологии, затрагивающие понятия нейрофизиологии, используют формальные определения лишь частично. Существующих онтологий недостаточно для выражения семантики данных, методов и процессов при решении большинства исследовательских задач. В данной работе построены формальные спецификации для области анализа и моделирования когнитивных функций головного мозга. Полученные в результате взаимосвязанные спецификации могут использоваться для управления коллекциями неоднородных данных и применимых к ним методов обработки и анализа, создания концептуальных схем предметных областей, семантической интеграции неоднородных данных и решения задач в терминах предметной области.

**Ключевые слова:** концептуализация; онтологическое моделирование; нейрофизиология; интероперабельность данных; повторное использование данных

**DOI:** 10.14357/08696527200102

### 1 Введение

В нейрофизиологии как науке с интенсивным использованием данных имеется существенное разнообразие способов сбора данных, используемых инструментов, различных форматов данных и метаданных, объектов исследования и их характеристик, условий экспериментов. Все это делает доступные данные весьма неоднородными и усложняет взаимодействие исследователей и повторное использование данных при решении задач. Возникает необходимость в концептуализации предметной области, подробной спецификации данных с точки зрения предметной области и организации семантического поиска по этим спецификациям, а также формировании специализированных концептуальных схем

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 18-07-01434 и 18-29-22096).

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

для однородного представления исходных данных и достижения интероперабельности данных и методов при решении задач научными группами в данной предметной области.

Принципы представления данных и метаданных для достижения их интероперабельности и повторного использования, известные под аббревиатурой FAIR [1, 2], востребованы в нейроинформатике. В соответствии с ними, данные должны быть читаемы как людьми, так и машинами, хорошо идентифицированы, семантически определены с помощью общих словарей и онтологий, сопровождаемы метаданными о происхождении, согласованы с известными в предметной области протоколами, стандартами и моделями данных. Проблема неоднородности нейрофизиологических данных решается, по крайней мере частично, путем стандартизации форматов [3] и аннотирования данных с помощью онтологий, определяющих общие понятия в этой области.

Концептуализация предметной области на основе описания возникающих в них задач и формализации таких описаний путем определения понятий, их связей и ограничений позволяет построить хорошо структурированные формальные онтологии для различных областей в нейрофизиологии.

В настоящем исследовании проведен анализ подходов к семантическому моделированию предметной области нейрофизиологии, рассмотрены существующие в данной области онтологии. Понятия этих онтологий в сочетании с вербальными описаниями постановок некоторых актуальных задач, решаемых в области моделирования когнитивных функций головного мозга, применены для составления связанных спецификаций предметной области, допускающих использование понятий и их отношений для выражения специфических ограничений для выбранных классов задач. Полученные в результате взаимосвязанные онтологические модули и концептуальные схемы могут использоваться для управления коллекциями неоднородных данных в нейрофизиологии и решении множества исследовательских задач над ними.

Статья структурирована следующим образом. В разд. 2 рассмотрено текущее состояние концептуального моделирования предметной области нейрофизиологии. Раздел 3 посвящен краткому описанию подхода к концептуализации и формализации спецификаций предметной области. Разработанные онтологические модули описаны в разд. 4. В разд. 5 приведены рассуждения о применении формальных спецификаций для семантической интеграции данных и для решения задач в их терминах.

## 2 Родственные работы

Необходимость концептуализации предметной области в нейрофизиологии была осознана и реализовалась в проектах после успеха использования нескольких биомедицинских онтологий, в первую очередь Gene Ontology (GO). Поэтому наиболее известные онтологии, развиваемые и используемые в научном сообществе нейрофизиологов, принадлежат набору онтологий, поддерживаемому в более

широкой области биомедицинских исследований и созданному и согласуемому усилиями консорциума Open Biomedical Ontologies (OBO) [4], куда входит и онтология GO. Консорциум собирает открытую коллекцию онтологий, занимается их согласованным развитием в соответствии с разработанными требованиями. Большинство имеют только таксономии понятий с вербальными определениями на английском языке. Специфические отношения понятий, присущие описываемым предметным областям, не определены. В основе онтологий разных предметных областей лежат разные онтологии верхнего уровня, например Basic Formal Ontologies (BFO) [5], или собственные иерархии.

Среди разнообразных онтологий и словарей консорциума OBO можно выделить некоторые, имеющие наиболее близкое отношение к области, исследуемой в данной работе, например EMBRACE Data and Methods (EDAM), NCI Thesaurus (NCIT), Eagle-i Resource Ontology (ERO), Ontology of Biomedical Investigations (OBI) [6]. Вне консорциума OBO одной из онтологий, используемых в нейрофизиологии, является Neuroscience Information Framework (NIF) Standard Ontology [7]. Заметим, однако, что в настоящее время существует рекомендация OBO использовать вместо частей NIF различные онтологии в составе OBO, в частности CL (онтология клеток), UBERON (анатомические описания), DOID (онтология патологий).

В биоинформатике и, в частности, в нейроинформатике OBI используется в первую очередь для аннотирования записей баз данных и унификации описания медицинских исследований. Она представлена в языке онтологий OWL и поддерживает автоматическую проверку согласованности понятий. Онтология использует отношения общего вида, такие как «часть–целое», «играет роль», «имеет функцию», «реализует» и др. Однако такие определения введены только для части понятий для решения определенных классов задач.

В работе [8] для структуризации онтологии клеток (CL) в составе OBO выбираются необходимые понятия и их вербальные определения, затем применяется определенный набор правил для анализа вербальных определений и формирования на их основе именованных онтологических отношений между понятиями. При этом вводятся типы отношений, специфичных для предметной области, например «расположение тела нейрона» (`has_soma_location`), а не только общие отношения, такие как «имеет расположение» (`located_in`) [9].

Таким образом, анализ существующих понятийных средств спецификации в предметной области нейрофизиологии показывает, что в данной области присутствует и активно используется ряд частично согласованных онтологий и словарей с собственными таксономиями понятий. Вместе с тем присутствует и задел, связанный с формализацией и согласованием этих онтологий и использованием формального вывода над ними. Поэтому для дальнейшей формализации спецификаций предметной области имеет смысл использовать стиль описания онтологий, уже устоявшийся в биомедицине.

В нижеследующих разделах рассматривается подход к разработке связанных структурированных спецификаций понятий в области анализа и моделирования

когнитивных функций. Эти спецификации обеспечивают возможность аннотирования, точно выражающего семантику релевантных данных.

### 3 Подход к концептуализации предметной области

В рамках данного исследования для разработки спецификаций предметной области анализа и моделирования когнитивных функций была применена методология концептуального подхода к решению исследовательских задач, описанная в работе [10]. Согласно предложенной методологии, источниками знаний о предметной области служат опросы специалистов, существующие модели предметной области, в частности онтологии в составе ОВО, описания структур источников данных, метаданных и форматов, постановки задач в предметной области, обзоры методов, используемых в предметной области.

В соответствии с упомянутой методологией формирование спецификаций предметной области отталкивается от описания классов задач предметной области. В описаниях задач и подходов к их решению выделяются основные термины предметной области и составляется глоссарий терминов с определениями. Подспорьем на этом этапе служат вербальные определения в существующих онтологиях. Предпочтение отдается понятиям ОВИ.

Анализ вербальных определений позволяет выделить связи между понятиями. В зависимости от вида связи они формализуются в виде отношений понятие–подпонятие, часть–целое, класс–экземпляр, а также в виде именованных отношений различных видов с заданными областями определения и значения. Таким образом на основе глоссария создается онтология предметной области.

В текущем исследовании тематически близкие фрагменты онтологий образуют отдельные модули, однако между понятиями разных модулей онтологии могут присутствовать отношения. В качестве основы иерархии понятий используется онтология верхнего уровня ВФО. Отношения понятий также образуют независимую иерархию и определяются как специализации отношений общих видов. Таким образом обеспечивается возможность определения хорошо структурированных метаданных, описывающих семантику данных с точки зрения понятий предметной области.

Налагая более жесткие ограничения на отношения понятий, можно точнее определять семантику данных при поиске, интеграции и анализе данных, релевантных решаемым в предметной области задачам. Могут использоваться выражения на основе связанных друг с другом понятий предметной области или нескольких предметных областей в случае междисциплинарных задач, определяющие сужение интерпретаций, соответствующих семантике описываемых информационных объектов. Отношения эквивалентности с внешними онтологиями могут быть использованы для поиска и повторного использования связанных с ними ресурсов.



## 4 Спецификации предметной области

В данном разделе описаны основные модули и понятия онтологии, отвечающей различным аспектам исследований в области моделирования когнитивных функций головного мозга человека. Онтология основана на принципах описания исследований, принятых в ОВІ, однако существенно расширяет связи этих описаний. Она включает в себя понятия для описания человека как объекта исследования и его возможных патологий; описание органов человека и явлений, связанных с ними; описание головного мозга и направлений его когнитивной деятельности; описание стимулов, получаемых человеком, и заданий, выполняемых им для изучения его когнитивной деятельности; описание методов и инструментов наблюдения за деятельностью головного мозга.

### 4.1 Модуль «Пациенты»

Для описания человека в целом, его характеристик и ролей используются такие характеристики, как возраст (возрастные группы) и пол человека, а также наличие неврологических заболеваний. Понятие «человек» (`homo_sapiens`) является в ОВІ подпонятием биологического организма (`organism`), которое, в свою очередь, является подпонятием материальной сущности (`material_entity`), используемой в медицинских исследованиях в качестве объекта исследования. Понятие «человек» имеет отношения «имеет возраст» (`has_age`) с понятием «возраст» (`age`). Дополнительно вводятся отношения «входит в возрастную группу» (`belongs_to_age_group`) с понятием «возрастная группа» (`age_group`), «имеет пол» (`has_sex`) с понятием «биологический пол» (`biological_sex`). Эти и подобные понятия определены как подпонятия «качественных показателей» (`quality`) в ОВО.

Такие описания представимы в виде утверждений языка OWL [11], следующих стилю спецификации онтологий в сообществе биомедицинских исследований:

```
homo_sapiens subClassOf (  
  organism  
  and (has_age some age)  
  and (belongs_to_age_group some age_group)  
  and (has_sex some biological_sex))
```

Понятие «возраст» (`age`) является подпонятием «скалярной величины» (`scalar_value_specification`), определенной в ОВІ. Понятие «возрастной группы» (`age_group`) имеет следующие значения (`hasValue`): «дети» (`children`), «подростки» (`teenagers`), «молодые люди» (`youth`), «люди среднего возраста» (`middle_aged_people`), «люди в возрасте» (`aged_people`). Как правило, в исследованиях когнитивных функций мозга фигурирует характеристика не точного возраста, а возрастной группы. Биологический пол человека определяется понятием `biological_sex`, имеющим два значения: «мужчина» (`male`) и «женщина» (`female`).



В большинстве случаев, отношения определяются инверсными парами, такими как `has_age – age_of`, `has_sex – sex_of`.

В онтологии также определено понятие «пациент» (`patient`) как подпонятие понятия «человек», определяющее его роль в медицинском или научном исследовании. Пациент может иметь набор патологий (`has_disease`) и дисфункций (`has_disorder`), определяемых в других модулях.

## 4.2 Модуль «Патологии»

Экземпляр понятия «патология» (`desease`) связывается с пациентом, у которого она обнаружена, отношением `desease_of`. Патология может быть причиной определенных расстройств и дисфункций (отношение `raises_disorder`). К конкретным заболеваниям относятся, например, болезнь Альцгеймера (`alzheimers_desease`) и болезнь Паркинсона (`parkinson_desease`). Подробное описание патологий разного рода может быть интегрировано в качестве внешней онтологии.

Расстройства и дисфункции организма (понятие `disorder`) также связаны с пациентом (`disorder_of`) и с определенными патологиями (`raised_by_desease`). В частности, болезнь Альцгеймера вызывает когнитивные дисфункции (`cognitive_disorder`), а болезнь Паркинсона — двигательные (`motor_disorder`).

## 4.3 Модуль «Части тела и органы»

В исследовании когнитивных функций мозга приходится сталкиваться с явлениями, связанными с частями тела и органами, во-первых, для исследования деятельности мозга при определенных действиях человека и, во-вторых, в связи с тем, что активность различных частей тела или органов может создавать нежелательные фоновые шумы и артефакты в получаемых от инструментов наблюдения сигналах. Онтология определяет понятие «орган» (`organ`), объединяя в себе части тела и внутренние органы. Подпонятиями понятия «орган» являются, в частности, части тела «палец руки» (`finger`), «рука» (`arm`); органы «сердце» (`heart`), «язык» (`tongue`), «глотка» (`throat`), «мышца века» (`eyelid_muscle`) и т. д. Они организованы в иерархию органов за счет интеграции фрагмента внешней онтологии Neuro Behavior Ontology (NBO) в составе ОВО.

С понятием «орган» связано отношение «иметь активность» (`has_activity`). Понятие «активность органа» (`organ_activity`) используется для описания событий, характерных для определенного органа или части тела, таких как «движение мышцы руки» (`arm_muscle_movement`), «моргание» (`eyelid_blinking`), «глотание» (`swallowing`), «сокращение сердца» (`heart_contraction`).

## 4.4 Модуль «Структура головного мозга»

Головной мозг, являясь одним из внутренних органов человека, имеет как общие описания с другими органами, в частности описание активности, так

и специфические описания, относящиеся в первую очередь к структуре головного мозга и специфическим видам активности. Понятие «головной мозг» (brain) наследует описания понятия «орган», оно связано отношениями «имеет отдел» (has\_biological\_region) с понятием «отдел головного мозга» и отношением «имеет область» (has\_observational\_region) с понятием «область головного мозга».

Понятие «отдел головного мозга» (anatomical\_brain\_region) обусловлено анатомической структурой и границами определенных тканей мозга, отражает вложенность отделов головного мозга взаимно инверсными отношениями «имеет подотдел» (has\_subregion) и «является подотделом» (subregion\_of). Отделы головного мозга отражаются в атласах головного мозга, для этого вводится отношение «содержится в атласе» (provided\_in\_atlas).

Понятие «область головного мозга» (observational\_brain\_region) связано с областью интереса (Region of Interest, ROI) как участок головного мозга, выделяемый алгоритмически по признакам активности при заданных экспериментом условиях. У понятия может быть определено отношение «принадлежит отделу» (belongs\_to\_anatomical\_region). Активность области головного мозга отражается отношением «имеет активность» (has\_activity) и отношением «обнаруживается методом» (detected\_by\_method).

#### **4.5 Модуль «Нейрофизиологические явления и когнитивная деятельность»**

Модуль, связанный с описанием когнитивной деятельности мозга, содержит понятия, относящиеся к нейрофизиологическим явлениям, обнаруживаемым различными методами наблюдения, а также к когнитивной деятельности, связанной с различными физиологическими проявлениями, сознательными процессами.

Понятие «активность области головного мозга» (brain\_region\_activity) связано отношением «область активности» (activity\_of) с определенной областью головного мозга (инверсное отношение для отношения has\_activity). Активность может быть обусловлена каким-либо раздражителем, процессом когнитивной деятельности и выполнением задачи реагирования на раздражитель. Для этих целей введены отношения «имеет раздражитель» (has\_stimulus), «имеет когнитивный процесс» (has\_cognitive\_process) или «имеет задачу реагирования» (has\_response).

Активность участков головного мозга обнаруживает себя в виде различных явлений, для которых введены подпонятия нейрофизиологической активности. Понятие «электрофизиологической активности» соответствует явлению, регистрируемому посредством электроэнцефалографии. Специализация этого понятия «вызванный потенциал» (evoked\_potential) предполагает обнаружение электрических потенциалов при воздействии раздражителя. Понятие «активности, зависимой от уровня кислорода в крови» (blood\_oxygen\_level\_dependent\_activity), отвечает обнаружению активности участков мозга с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии. Понятие «функциональной связности участков мозга» (functional\_connectivity) отражает зависимость активности двух и более участков головного мозга при определенных воздействиях или действиях.

Понятие «раздражитель» (stimulus) определяет разновидности внешних воздействий. Видами раздражителей могут быть «аудиальный раздражитель» (auditory\_stimulus), «визуальный раздражитель» (visual\_stimulus), «электрический раздражитель» (electrostimulus), «тактильный раздражитель» (tactile\_stimulus), «химический раздражитель» (chemical\_stimulus) и др.

Когнитивная деятельность определяется соответствующим понятием (cognitive\_activity). К такой деятельности относится широкий круг понятий, описывающих сознательную, активную либо пассивную деятельность, например: «состояние покоя» (resting\_state), «слушание» (hearing), «речь» (speaking), «радость» (joy), «долгосрочная память» (long\_term\_memory) и множество других. Вместе с тем к когнитивной деятельности могут быть отнесены такие действия, как «движение» (movement), связанное отношением «отражается на активности органа» (reflected\_by\_activity) с понятием «активность органа» (organ\_activity). В качестве отдельного понятия необходимо определить «реакцию на раздражитель» (response). Это понятие связано отношениями с понятиями «раздражитель» и «когнитивная деятельность» и может связываться с любыми их подтипами.

#### 4.6 Модуль «Методы и инструменты наблюдения»

Понятие «метод наблюдения активности мозга» (brain\_activity\_detection) является подпонятием понятия онтологии ОВИ «анализ» (assay), которое является одним из «запланированных процессов» (planned\_process). Понятие «анализ» связано отношением «имеет входной параметр» (has\_specified\_input) с понятием «материальная сущность» (material\_entity) и отношением «имеет выходной параметр» (has\_specified\_output) с понятием «информационная сущность» (information\_content\_entity). Помимо этого, определяются отношения «реализован в» (implemented\_in) и «использует явление» (uses\_phenomenon), характеризующее методы анализа с точки зрения явления, на котором основаны их наблюдения.

Подпонятиями методов наблюдения активности мозга выступают такие методы, как «электроэнцефалография» (electroencephalography), «магнитная энцефалография» (magnetic\_encephalography), «функциональная магнитно-резонансная томография» (functional\_magnetic\_resonance\_imaging), «позитронно-эмиссионная томография» (positron\_emission\_tomography) и другие.

Аналитические задачи нейрофизиологии определяются в ОВИ как подпонятия понятия «преобразование данных» (data\_transformation), которые в качестве входных (has\_specified\_input) и выходных (has\_specified\_output) параметров имеют отношения с понятием «информационной сущности» (information\_content\_entity). Задачи могут решаться математическими методами. Однако для определения физического смысла того, что делает математический метод, нужно оборачивать математические методы в методы нейрофизиологии, семантически определенные в предметной области. Нейрофизиологическими методами анализа могут быть, например, «обнаружение функциональной связанности отделов головного мозга»

(`brain_region_functional_connectivity_detection`), «обнаружение вызванных потенциалов» (`evoked_potential_detection`).

Активность различных частей тела или органов может создавать нежелательные фоновые шумы и артефакты в получаемых от инструментов наблюдения сигналах. Такими источниками помех могут быть мышечные (немозговые) сигналы, сигналы мобильных телефонов, кардиосигналы. Однако в зависимости от решаемой задачи эти же сигналы могут переходить из разряда артефактов в целевые события, например движение языка при речевой активности или моргание при испуге. Понятие «артефакт» (`artefact`) имеет отношение с явлениями в частях тела и органах, а также отношение «является артефактом в методе» с понятием метода исследования.

Методы реализуются конкретными инструментами наблюдения, для чего вводится понятие «инструмент» (`instrument`). Определяются понятия, связанные с информационными структурами разного уровня детализации, такими как описание временных рядов и отдельных каналов в электроэнцефалограммах, регулярных решеток и срезов в магнитно-резонансной томографии; с форматами данных, такими как `Nifti`, `Deicy`, `Analyze`, `BrainImage`, `EDF`, `BIDS` и др. Типы информационных ресурсов, таких как атласы головного мозга, знания о шаблонах когнитивной деятельности, также определяются со ссылками на понятия, определяющие, что именно находится в ресурсах, и с определенными типами и форматами данных.

## 4.7 Общие модули

Определяются онтологические модули, которые являются общими для любых предметных областей, включающие понятия математических методов, измерений в различных единицах и качества измерений, описания научных экспериментов с отношениями между понятиями методов, гипотез, моделей и законов. Немаловажной внешней онтологией при описании данных и методов выступает онтология происхождения данных `PROV-O` [12] для метаданных об исходных источниках данных, периоде их актуальности, ответственных лицах, опубликовавших данные, и многих других аспектах управления данными.

## 5 Применение концептуальных спецификаций

### 5.1 Аннотирование и поиск данных

Разработанные формальные спецификации предметной области нейрофизиологии позволяют выражать новые ограничения с использованием понятий и их отношений, образуя новые понятия, точно выражающие семантику данных.

Например, при решении одной нейрофизиологической задачи необходимо изучить функциональную связность областей головного мозга здоровых молодых

людей мужского пола. Становится необходимым понятие, которое не присутствует в онтологии изначально, но выразимо с использованием существующих понятий:

```
subClassOf (functional_connectivity and (of_regions some
(brain_region and (of_brain some (brain and (of_organism some
(patient and (belongs_to_age_group value youth) and
(has_disease exact 0 disease) and (has_sex value male))))))))))
```

В данном выражении определяется подпонятие функциональной связности (`functional_connectivity`) участков головного мозга (`brain_region`) пациентов мужского пола (`has_sex value male`) с отсутствием известных патологий (`has_disease exact 0 disease`), принадлежащих к молодежной возрастной группе (`belongs_to_age_group value youth`).

Подобные выражения используются в качестве семантических аннотаций для определения семантики данных. Благодаря тому, что семантика OWL выражается в специальных классах описательной логики, могут быть автоматически решены при помощи средств логического вывода задачи выполнимости и вложения понятий онтологии. При задании запросов к базе знаний в виде выражений в терминах онтологии производится автоматическая классификация понятий и фактов, хранимых в базе знаний, по отношению к запросу. Результатом становится список понятий, которые являются подпонятиями выражения запроса, а значит, семантически соответствуют выражаемому им понятию, а также экземпляры базы знаний, описывающие конкретные данные, методы и ресурсы, становятся экземплярами понятия, выраженного в запросе.

## 5.2 Разработка концептуальных схем и интеграция ресурсов

Онтология предметной области определяет отношения между понятиями, но она не предназначена напрямую для представления данных при решении задач. Над спецификациями онтологии может быть произведен ряд преобразований, трансформирующих знания о связях понятий в структуры данных.

Для этого понятия преобразуются в типы или реляционные таблицы, отношения разных видов между понятиями преобразуются в атрибуты определенных типов, включая скалярные типы и связи структур, а понятия, связанные с методами и зависимостями, — в сигнатуры методов для определения поведения. Так, понятие «пациент» может быть преобразовано в реляционную таблицу `patient`:

```
CREATE TABLE patient (
  patient_id NUMBER (10) PRIMARY KEY,
  name VARCHAR2 (80),
  age NUMBER (2),
  age_group VARCHAR2 (1)
  CHECK (age_group IN ('child', 'youth', 'middle', 'aged')),
  sex VARCHAR2 (1)
```

```
CHECK (sex IN ('M', 'F')),
deseases NUMBER (10),
FOREIGN KEY (deseases)
REFERENCES patient_desease (patient_id),
disorders NUMBER (10),
FOREIGN KEY (disorders)
REFERENCES patient_disorder (patient_id));
```

При наличии информационных ресурсов, структура которых аннотирована в терминах данной онтологии, между элементами структур информационных ресурсов и элементами концептуальной схемы предметной области возникают связи семантического соответствия на основе онтологии. Онтологически связанные ресурсы могут быть интегрированы с помощью отображения их структур данных в концептуальную схему для трансформации данных из различных ресурсов в представление в терминах концептуальной схемы предметной области. Таким образом, онтология и концептуальная схема предметной области становятся основой для обеспечения семантической интероперабельности неоднородных ресурсов и корректного повторного их использования.

## 6 Заключение

Анализ понятийных подходов к спецификации предметной области нейрофизиологии показал, что в данной области используются онтологии более широкой области биомедицины. Формальные подходы в нейроинформатике в целом с использованием существующих онтологий применимы для очень ограниченного класса задач, и их применение для произвольных задач требует разработки связанных концептуальных спецификаций. В данной работе рассмотрены формальные спецификации для решения задач в области анализа и моделирования когнитивных функций мозга над нейрофизиологическими данными.

## Литература

1. *Wilkinson M. D., Dumontier M., Aalbersberg I. J., et al.* The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship // *Scientific Data*, 2016. Vol. 3. Art. No. 160018. P. 1–9. doi: 10.1038/sdata.2016.18.
2. *Skvortsov N. A.* Meaningful data reuse in research communities // *Data analytics and management in data intensive domains* / Eds. Y. Manolopoulos, S. Stupnikov. — *Communications in computer and information science ser.* — Springer, 2019. Vol. 1003. P. 37–51. doi: 10.1007/978-3-030-23584-0\_3.
3. *Pernet C. R., Appelhoff S., Gorgolewski K. J., et al.* EEG-BIDS, an extension to the brain imaging data structure for electroencephalography // *Scientific Data*, 2019. Vol. 6. Art. No. 103. P. 1–5. doi: 10.1038/s41597-019-0104-8.

4. *Smith B., Ashburner M., Rosse C., et al.* The OBO foundry: Coordinated evolution of ontologies to support biomedical data integration // *Nat. Biotechnol.*, 2007. Vol. 25. P. 1251–1255. doi: 10.1038/nbt1346.
5. *Arp R., Smith B., Spear A. D.* Building ontologies with basic formal ontology. — MIT Press, 2015. 248 p. <https://mitpress.mit.edu/books/building-ontologies-basic-formal-ontology>.
6. *Bandrowski A.* The ontology for biomedical investigations // *PLoS One*, 2016. Vol. 11. Iss. 4. Art. No. e0154556. doi: 10.1371/journal.pone.0154556.
7. *Larson S. D., Martone M. E.* Ontologies for neuroscience: What are they and what are they good for? // *Front. Neurosci.*, 2009. Vol. 3. Iss. 1. P. 60–67. doi: 10.3389/neuro.01.007.2009.
8. *Aevermann B. D., Novotny M., Bakken T., et al.* Cell type discovery using single-cell transcriptomics: Implications for ontological representation // *Hum. Mol. Genet.*, 2018. Vol. 27. Iss. R1. P. R40–R47. doi: 10.1093/hmg/ddy100.
9. *Smith B., Ceusters W., Klagges B., et al.* Relations in biomedical ontologies // *Genome Biol.*, 2005. Vol. 6. Iss. 5. Art. No. R46. doi: 10.1186/gb-2005-6-5-r46.
10. *Skvortsov N. A., Stupnikov S. A.* Formalizing requirements specifications for problem solving in a research domain // *New trends in databases and information systems* / Eds. T. Welzer, J. Eder, V. Podgorelec, et al. — *Communications in computer and information science ser.* — Springer, 2019. Vol. 1064. P. 266–279. doi: 10.1007/978-3-030-30278-8\_29.
11. *Horrige M., Drummond N., Goodwin J., Rector A., Stevens R., Wang H. H.* The Manchester OWL Syntax // *CEUR Workshop Proceedings*, 2006. OWL: Experiences and Directions. Art. No. 6. Vol. 216. P. 1–10. [http://ceur-ws.org/Vol-216/submission\\_9.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-216/submission_9.pdf).
12. *Belhajjame K., Cheney D., Garijo D., Soiland-Reyes S., Zednik S., Zhao J.* PROV-O: The PROV Ontology. W3C Recommendation, World Wide Web Consortium (W3C), 2013. <https://www.w3.org/TR/prov-o>.

Поступила в редакцию 21.11.19

---

---

## DOMAIN SPECIFICATIONS FOR DATA-INTENSIVE PROBLEM SOLVING IN NEUROPHYSIOLOGY

*N. A. Skvortsov*

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:** Neurophysiology as a data-intensive science requires detailed data specification from the domain point of view. Such specifications are necessary for organization of semantic search over collected data, creation of conceptual schemes for a homogeneous representation of source data, and providing interoperability for research problem solving using neurophysiological data by specialists of the domain. Known ontologies that provide concepts of neurophysiology define



them in a formal way only partially. Existing ontologies are not enough to express semantics of data, methods, and processes for solving most of research problems. This particular work is aimed at developing formal specifications for the domain of analysis and modeling of cognitive functions of brain. The coherent specifications developed can be used to manage collections of heterogeneous data and methods, to create conceptual schemes of the domain, to provide semantic integration of heterogeneous data, and problem solving in terms of the domain.

**Keywords:** conceptualization; ontological modeling; neurophysiology; data interoperability; data reuse

**DOI:** 10.14357/08696527200102

## Acknowledgments

The study was funded by the Russian Foundation for Basic Research (projects 18-07-01434 and 18-29-22096).

## References

1. Wilkinson, M. D., M. Dumontier, I. J. 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. Skvortsov, N. A. 2019. Meaningful data reuse in research communities. *Data analytics and management in data intensive domains*. Eds. Y. Manolopoulos and S. Stupnikov. Communications in computer and information science ser. Springer. 1003:37–51. doi: 10.1007/978-3-030-23584-0\_3.
3. Pernet, C., S. Appelhoff, G. Flandin, *et al.* 2019. EEG-BIDS, an extension to the brain imaging data structure for electroencephalography. *Scientific Data* 6:103. doi: 10.1038/s41597-019-0104-8.
4. Smith, B., M. Ashburner, C. Rosse, *et al.* 2007. The OBO foundry: Coordinated evolution of ontologies to support biomedical data integration. *Nat. Biotechnol.* 25:1251–1255. doi: 10.1038/nbt1346.
5. Arp, R., B. Smith, and A. D. Spear. 2015. *Building ontologies with basic formal ontology*. MIT Press. 248 p. Available at: <https://mitpress.mit.edu/books/building-ontologies-basic-formal-ontology> (accessed April 5, 2020).
6. Bandrowski, A. 2016. The ontology for biomedical investigations. *PLoS One* 11(4):e0154556. doi: 10.1371/journal.pone.0154556.
7. Larson, S. D., and M. E. Martone. 2009. Ontologies for neuroscience: What are they and what are they good for? *Front. Neurosci.* 3(1):60–67. doi: 10.3389/neuro.01.007.2009.
8. Aevermann, B. D., M. Novotny, T. Bakken, *et al.* 2018. Cell type discovery using single-cell transcriptomics: Implications for ontological representation. *Hum. Mol. Genet.* 27(R1):R40–R47. doi: 10.1093/hmg/ddy100.
9. Smith, B., W. Ceusters, B. Klagges, *et al.* 2005. Relations in biomedical ontologies. *Genome Biol.* 6(5):R46. doi: 10.1186/gb-2005-6-5-r46.



10. Skvortsov, N. A., and S. A. Stupnikov. 2019. Formalizing requirement specifications for problem solving in a research domain. *New trends in databases and information systems*. Eds. T. Welzer, J. Eder, V. Podgorelec, *et al.* Communications in computer and information science ser. Springer. 1064:266–279. doi: 10.1007 / 978-3-030-30278-8\_29.
11. Horridge, M., N. Drummond, J. Goodwin, A. Rector, R. Stevens, and H. H. Wang. 2006. The Manchester OWL syntax. *CEUR Workshop Proceedings: OWL: Experiences and Directions*. 216:6. 10 p. Available at: [http://ceur-ws.org/Vol-216/submission\\_9.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-216/submission_9.pdf) (accessed November 15, 2019).
12. Belhajjame, K., J. Cheney, D. Corsar, D. Garijo, S. Soiland-Reyes, S. Zednik, and J. Zhao. 2013. PROV-O: The PROV ontology. W3C Recommendation. World Wide Web Consortium (W3C). Available at: <https://www.w3.org/TR/prov-o/> (accessed November 15, 2019).

*Received November 21, 2019*

## **Contributor**

**Skvortsov Nikolay A.** (b. 1973) — 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; nskv@mail.ru

## БАЙЕСОВСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СЕРИЙ МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ

*М. П. Кривенко*<sup>1</sup>

**Аннотация:** Рассматривается анализ результатов наблюдения группы объектов в течение времени, за которое эти объекты могут поменять какие-либо свои значимые характеристики. Цель состоит в том, чтобы описать изменения и выявить факторы, их определяющие. Соответствующие методы известны как лонгитюдные (продольные, протяженные во времени). В статье предлагается иной подход, когда серия многомерных характеристик некоторого объекта составляет единый вектор наблюденных значений. За счет увеличения размерности данных удается получить единую картину описания объектов и формализовать построение модели данных. Для демонстрации сути подхода и иллюстрации появляющихся возможностей анализа данных рассматривается задача ранней диагностики рака с использованием биомаркера PSA (prostate-specific antigen — простат-специфический антиген). Выявлено, что многомерный подход при анализе серии анализов приводит к повышению точности диагностики.

**Ключевые слова:** классификация серий данных; лонгитюдный анализ; консолидирующий подход; смесь вероятностных анализаторов главных компонент

**DOI:** 10.14357/08696527200103

### 1 Введение

Обычно анализ данных подразумевает, что каждый объект исследования порождает единственное одномерное или многомерное наблюдение, в результате чего формируется матрица признак–объект. В таких областях, как, например, социология или медицина, аналитик может иметь дело с серией наблюдений для одного объекта, связанных с последовательными моментами времени. В результате матрица признак–объект приобретает дополнительное измерение — время, а ее элемент становится вектором. Если сравнивать со случаем классических временных рядов, то данные теперь состоят из большого числа относительно коротких рядов, по одному для каждого объекта, а не из одного длинного ряда. Таким образом, в сериях из многомерного анализа присутствует структурность данных, а из временных рядов — фрагментарная протяженность. При исследованиях серий данных изучаемые объекты называют индивидуумами и привычно считать, что это люди.

---

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

Наличие фрагментированных временных составляющих в данных привело к развитию так называемого лонгитюдного анализа (продольного, протяженного), при котором изучается группа объектов (в частности, пациентов) в течение времени, за которое они могут существенным образом поменять какие-либо свои значимые характеристики.

Основная идея методов лонгитюдного исследования состоит в декомпозиции общей задачи анализа данных на задачу выявления временных закономерностей в отдельных сериях и на задачу многомерного анализа получившихся результатов обработки серий. Для построения статистического вывода относительно временных закономерностей используется регрессионный анализ.

В статье предлагается оригинальный метод объединения всех результатов наблюдений в привычную схему многомерного анализа данных в виде матрицы признак–объект. В ней признаки суть наблюдаемые значения в разные моменты времени всех характеристик объекта исследования. Объединение данных, фрагментированных по времени и по характеристикам, в единое целое должно естественным образом подключить преимущества обработки многомерных данных, а также помочь избежать потери общей эффективности статистического вывода из-за декомпозиции общей задачи анализа данных при лонгитюдном подходе. Поэтому предлагаемому подходу присвоено наименование консолидирующего, чтобы подчеркнуть его объединяющие и повышающие эффективность свойства. Надо понимать, что интеграция сопряжена с существенным ростом размерности задач анализа данных и усложнением процедур обработки.

## 2 Лонгитюдные методы

Отличительная особенность продольных исследований — наличие многократных во времени измерений одних и тех же объектов. Основная цель подобных исследований — описать изменения во времени и охарактеризовать влияющие на них факторы. В основу последующей общей характеристики лонгитюдного анализа положена монография [1].

Широкий и гибкий класс соответствующих моделей основан на парадигме регрессии, широко используемой и предоставляющей общий и универсальный подход к анализу данных. При этом подразумевается описание любой зависимости среднего значения выделенной переменной отклика от набора независимых переменных (ковариат) в форме уравнения регрессии.

На практике обычно обходятся моделями, в которых средний отклик или некоторое подходящее его преобразование является линейным по параметрам регрессии. Нелинейность же учитывается путем принятия соответствующих преобразований среднего отклика.

Использование регрессионных моделей в первую очередь предназначено для описательных целей, т. е. для определения наиболее существенных изменений среднего отклика, хотя это и не исключает их использование в качестве возможного объяснения лежащего в основе вероятностного механизма формирования

данных. Результаты подобных исследований могут стать основой решения задач классификации данных.

Наиболее просто мера внутрииндивидуального изменения может быть выражена в терминах «оценок различий» (например, различий между измерениями в начале и в конце периода наблюдений). Это элементарное понятие изменения естественным образом расширяется до более общих «траекторий изменений» (например, разностная оценка описывается через наклон линейного тренда).

Продольный анализ внутрииндивидуальных изменений происходит в два основных этапа. Во-первых, индивидуальное изменение отклика характеризуется с точки зрения соответствующей последовательности изменений в повторных измерениях для каждого индивидуума в течение периода наблюдения (например, с использованием «оценок различий» или некоторой формы «траектории изменения»). Во-вторых, эти оценки внутрииндивидуальных изменений затем связывают с межиндивидуальными различиями в терминах выбранных ковариат.

Обозначим для  $i$ -го объекта упорядоченную по времени серию  $n_i$  наблюдаемых значений отклика  $(y_{i1}, \dots, y_{in_i})^T$  как  $\mathbf{y}_i$ ; здесь и далее  $i = 1, \dots, N$ . Отклику  $y_{ij}$ ,  $j = 1, \dots, n_i$ , соответствует вектор из  $p$  выбранных ковариат:

$$\mathbf{X}_{ij} = (x_{ij1}, \dots, x_{ijp})^T.$$

В качестве ковариат могут выступать как дискретные, так и непрерывные величины; для отдельных объектов они могут в процессе наблюдения объекта оставаться без изменений или вести себя достаточно хаотично.

Модель данных формулируется в виде  $n_i$  отдельных регрессионных уравнений для переменной отклика в каждом из  $n_i$  экспериментов. В матричной форме они принимают вид (нижняя строка — размерности векторов и матриц)

$$\mathbf{y}_i = \mathbf{X}_i \cdot \boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}_i \quad (1)$$

$n \times 1 \quad n \times p \quad p \times 1 \quad n \times 1$

Хотя два описанных этапа анализа концептуально различны, они могут быть объединены в статистической модели для продольных данных. Таким образом, единственная статистическая модель для продольных данных используется как для определения того, как индивиды меняются со временем, так и для связи внутрииндивидуальных изменений с ковариатами.

Сравнивая динамические характеристики каждого объекта в двух или более случаях, продольный анализ может удалить посторонние, но неизбежные источники изменчивости среди объектов. Устраняя эти источники изменчивости, или «шум», из оценки внутрииндивидуального изменения, часто можно получить достаточно точную оценку изменения.

Число повторных наблюдений и моменты их проведения могут широко варьироваться от одного продольного исследования к другому. Возможна ситуация, когда число и время повторных измерений одинаковы для всех объектов, независимо от того, были ли случаи измерения одинаково или неравномерно распределены по всей продолжительности исследования. Заимствуя статистическую

терминологию из области планирования эксперимента, последние исследования называются «сбалансированными» с течением времени, т. е. все объекты имеют одинаковое число повторных измерений, полученных для единого набора случаев.

В случае, когда общий порядок сбора данных не выдерживается, говорят о «несбалансированных» измерениях. Это обычное явление, когда продольное исследование включает ретроспективно собранные данные (например, полученные из данных медицинских карт). Существенно несбалансированные продольные данные могут возникать, когда необходимо определить моменты измерений относительно некоторого контрольного события, которое происходит в течение периода наблюдения. При этом продольные исследования, которые считались сбалансированными во времени, когда время измерений определялось в соответствии с одним источником, могут оказаться существенно несбалансированными, когда время определено в терминах другого источника.

Распространенной и сложной проблемой в продольных исследованиях оказывается возникновение недостающих данных (например, участники исследования не всегда появляются для запланированного наблюдения или просто могут покинуть исследование до его завершения). Когда некоторые наблюдения отсутствуют, данные обязательно становятся несбалансированными. Однако в качестве исходной можно принять модель неполных сбалансированных данных (сбалансированные данные с пропусками), вопрос только в том, окажется ли она доступной с точки зрения обработки. Правда, одним из последствий отсутствия баланса и/или отсутствия данных представляется необходимость соблюдения осторожности при восстановлении изменений для отдельных объектов. Следует иметь в виду, что всегда предпочтительнее иметь сбалансированные проекты. Но в любом случае, когда продольные данные являются неполными, должны быть тщательно рассмотрены причины появления пропусков. В жизни продольные данные в области наук о здоровье редко бывают сбалансированными и/или полными, поэтому их надо уметь обрабатывать, чтобы получить практически интересные результаты.

При анализе данных продольного исследования основной интерес представляют средние отклики, в частности изменения среднего отклика во времени и то, как эти изменения зависят от ковариат (например, от варианта лечения, характера воздействия). Многие стандартные статистические методы (например, линейная регрессия и дисперсионный анализ) применяются в предположении, что наблюдения являются реализациями случайных величин, которые не зависят друг от друга. Это предположение будет вполне разумным, если план исследования требует, чтобы одно наблюдение было получено для каждого из объектов, которые выбирались случайным образом из большей популяции. Предположение о независимости также оправдано, когда исследование требует, чтобы для каждого объекта было получено одно наблюдение, а отдельные объекты были случайным образом распределены по различным условиям исследования. Более того, допущение о независимых наблюдениях часто может быть оправдано чисто

физическими или научными соображениями, когда считается, что наблюдаемые значения в исследовании совершенно не связаны друг с другом (например, реакция одного пациента не зависит от реакции другого).

Однако в случае, когда для одного и того же объекта получено более одного наблюдения, предположение о независимых наблюдениях становится несостоятельным (например, при повторных опросах некоторого субъекта прошлые ответы часто определяют, предсказывают будущие ответы). Поэтому для продольных данных обычные допущения стандартного регрессионного анализа не выполняются. Кроме того, ожидается, что пара повторных измерений, которые были получены близко друг к другу во времени, будет иметь более высокую корреляцию, чем пара повторных измерений, существенно разделенных во времени.

Авторы [1, разд. 2.5] со ссылкой на практический опыт многих продольных исследований в области биологических наук и наук о здоровье пришли к следующим эмпирическим наблюдениям о характере и природе корреляции между повторными измерениями: корреляции положительны, корреляции часто уменьшаются с увеличением интервалов времени между измерениями, корреляции между повторными измерениями редко когда-либо приближаются к нулю даже в тех случаях, когда они взяты с интервалом во много лет, и корреляция между парой повторных измерений, взятых очень близко друг к другу во времени, редко приближается к единице. Эти эмпирические наблюдения привели к следующим выводам о существовании трех потенциальных источников изменчивости, которые проявляются в оценках корреляции между повторными измерениями в одной серии: гетерогенность (неоднородность) между объектами, индивидуальные изменения в процессе наблюдения и ошибки измерения. Не надо забывать еще об одной важной детали: обычно продольные исследования не порождают достаточно много данных для оценки отдельных источников изменчивости.

### 3 Консолидирующий метод

Характерная черта продольного анализа — выделение в самостоятельную задачу исследования временных закономерностей в сериях с последующим регрессионным анализом получившихся результатов. Реально речь идет об одномерных откликах и простейших линейных зависимостях их от ковариат. В принципе, одномерность исходных данных не является существенным ограничением. Так, в [2, разд. 6] дается естественное обобщение модели множественной линейной регрессии — многомерная линейная регрессия. В принятых обозначениях для нее представление (1) переходит в

$$\mathbf{Y}_i = \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{B} + \mathbf{E}_i,$$

$n \times d \quad n \times p \quad p \times d \quad n \times d$

где  $d$  — размерность вектора откликов.

Важнее другое: для построения статистического вывода обычно используется предположение о многомерном нормальном распределении элементов регрессионной модели. Оно далеко от нужд практики и в первую очередь из-за того, что данные неоднородны. Эта «неприятность» усугубляется при добавлении времени, еще одного измерения, порождающего серии.

Весомую громоздкость модели лонгитюдного анализа придает необходимость характеристики изменений во времени. В частности, для задачи обучаемой классификации наблюдений этот этап вообще оказывается привнесенным и потому становится мешающим. Не отвечает потребностям практики и стремление ограничиться анализом одномерных характеристик объектов исследования.

Радикально нейтрализовать перечисленные недостатки лонгитюдного подхода предлагается путем перехода к анализу многомерных данных, включающих для отдельного объекта все наблюдения — как индивидуальные, так и относящиеся к сериям наблюдений. В последнем случае приходится указывать моменты времени измерения характеристик, если, конечно, план испытания не сбалансирован. Таким образом, в общем случае результатом наблюдений  $i$ -го объекта становится вектор  $\mathbf{z}_i$  из групп данных, каждая из которых соответствует определенному  $j$ -му элементу серии исходных данных. Каждая группа включает соответствующий момент времени  $t_{ij}$  и значения  $y_{ijl}$ ,  $l = 1, \dots, d$ . Таким образом,

$$\mathbf{z}_i = (t_{i1}, y_{i11}, \dots, y_{i1d}, \dots, t_{in_i}, y_{in_i1}, \dots, y_{in_id})^T,$$

при этом отказ от модели нормального распределения данных представляется более востребованным и ее преемником становится смесь нормальных распределений. Она оказывается более богатой по описательным возможностям, остается доступной с аналитической и вычислительной точек зрения, но попутно в случае анализа многомерных данных приводит к проблемам проклятия размерности. Это, в свою очередь, актуализирует вопросы выбора варианта модели и порождает необходимость снижения размерности данных. Существенный прогресс при решении задачи снижения размерности становится возможным в рамках вероятностной модели анализаторов главных компонент и ее обобщения до соответствующей смеси. В [3, 4] рассматривались возможности разных подходов к выбору соответствующих структурных параметров (число элементов смеси и размерности этих элементов).

Авторы [1, разд. 2.5] указывают, что «хотя практически это вопрос веры, что данные коррелируют, стоит задуматься над тем, почему это так, и, кроме того, почему продольные данные обычно имеют положительную корреляцию». Консолидирующий подход включает возможные зависимости отдельных измерений в исходную модель, тем самым избавляя исследователя от указанного мешающего фактора.

Таким образом, если  $\mathbf{z}$  является  $d$ -мерным вектором измерений объекта, то плотность его распределения принимает вид:

$$p(\mathbf{z}) = \sum_{s=1}^M \pi_s \varphi(\mathbf{z}, \boldsymbol{\mu}_s, \boldsymbol{\Sigma}_s),$$

где  $\varphi(\mathbf{z}, \boldsymbol{\mu}_s, \boldsymbol{\Sigma}_s)$  — плотность нормального многомерного распределения с моментами  $\boldsymbol{\mu}_s$  и  $\boldsymbol{\Sigma}_s$ .

Для  $s$ -го элемента смеси вероятностная модель анализа главных компонент для сниженной размерности основывается на представлении:

$$\mathbf{z} = \mathbf{W}_s \mathbf{u} + \boldsymbol{\mu}_s + \boldsymbol{\varepsilon}_s, \quad (2)$$

где  $\mathbf{z}$  — наблюдаемая  $(d \times 1)$ -переменная,  $\mathbf{z} \sim N(\boldsymbol{\mu}_s, \mathbf{C}(k_s))$ ;  $\mathbf{W}_s$  —  $(d \times k_s)$ -матрица преобразования;  $\mathbf{u}$  — латентная  $(k_s \times 1)$ -переменная,  $\mathbf{u} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{I})$ ;  $\boldsymbol{\varepsilon}_s \sim N(\mathbf{0}, \sigma_s^2 \mathbf{I})$ ;  $\mathbf{C}(k_s) = \mathbf{W}_s \mathbf{W}_s^T + \sigma_s^2 \mathbf{I}$ . Здесь  $d$  — исходная размерность данных,  $k_s$  — сниженная размерность данных, а  $k_s$ ,  $\boldsymbol{\mu}_s$ ,  $\mathbf{W}_s$  и  $\sigma^2$  суть параметры модели.

Базовые переменные в правых частях (1) и (2) несут различную смысловую нагрузку:

- компоненты  $\mathbf{x}$  в регрессионной модели заранее выбраны исследователем, являются наблюдаемыми и могут трактоваться и как неслучайные, и как случайные величины; через нагрузки  $\beta$  определяют новую характеризацию задачи исследования;
- переменные  $\mathbf{u}$  в консолидирующем подходе являются латентными случайными величинами, их задача — пытаться по-новому взглянуть на совокупность всех исходных данных.

## 4 Эксперименты

Для выявления заболевания на ранних стадиях, прежде чем оно станет клинически очевидным, можно использовать биомаркеры (далее — просто маркеры). В частности, в случае рака предстательной железы к ним относится PSA. Исследовалась возможность представления и эффективность обработки результатов сериальных наблюдений PSA в интересах решения задачи диагностики. Для экспериментов использовался набор данных, сформированный на основе [5] и опубликованный в [6]. Он содержал результаты наблюдений в 71 случае рака простаты (далее — диагноз  $D = 1$ ) и для 70 пациентов из контрольной группы ( $D = 0$ ). Рассматривались два типа маркеров: общий PSA (tPSA — total PSA) и свободный PSA (fPSA — free PSA). Всего имелось 683 наблюдения, каждое из которых включало идентификатор пациента (Id), диагноз, промежуток времени  $T$  до установления окончательного диагноза, уровни fPSA и tPSA, возраст пациента (Age). Для примера фрагмент данных приведен в табл. 1.

Данные распались на серии наблюдений для отдельных пациентов; длина  $L$  серии менялась от одного пациента к другому. Представление о частотах появления серий определенной длины  $L$  можно получить из табл. 2.



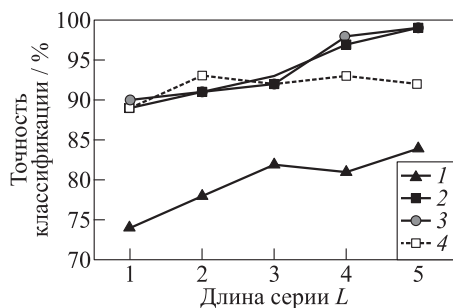
**Таблица 1** Фрагмент исходных данных

Id	$D$	$T$	fPSA	tPSA	Age
...	...	...	...	...	...
3	0	-1,117	0,227	1,03	57,292
...	...	...	...	...	...

**Таблица 2** Частоты встречаемости серий наблюдений длины  $L$

$D$	$L$										Сумма
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\geq 10$	
0	0	2	6	9	4	12	10	9	18	0	70
1	14	7	24	9	10	6	1	0	0	0	71

При фиксированном наборе маркеров (tPSA и fPSA, или только tPSA, или только fPSA) и определенном значении  $L$  используется обучаемый байесовский классификатор. Для описания данных каждого из двух классов принимается вероятностная модель смеси анализаторов главных компонент, включая выбор ее эффективной размерности [3, 4], т. е. значений параметров числа элементов смеси  $m_D$  для каждого класса и значений эффективной размерности  $k_{iD}$  для  $i$ -го элемента смеси нормальных распределений в классе  $D$ . Например, в случае маркеров tPSA и fPSA при  $L = 5$  размерности модели анализаторов главных компонент следующие:  $m_0 = 8$  и  $k_{i0} = (3, 2, 2, 3, 3, 3, 3, 2)$ ,  $m_1 = 4$  и  $k_{i1} = (2, 2, 1, 3)$ . Для сравнения с идеями лонгитюдного подхода исследовался еще один вариант обработки данных: регрессионный анализ для каждого пациента в отдельности как основа формирования набора признаков классификации: при фиксированной длине серии оценивались два параметра линейного тренда значений tPSA,



Зависимость оценки точности классификации от длины серии  $L$  для консолидирующего анализа маркера fPSA (1), маркера tPSA (2), маркеров tPSA и fPSA (3), а также для лонгитюдного анализа маркера tPSA (4)

которые в совокупности с данными о возрасте пациента составляли три признака классификации. Качество классификации характеризовалось ее точностью и оценивалось методом перепроверки. Результаты экспериментов приведены на рисунке.

Основной вывод из полученных результатов состоит в том, что предложенный консолидирующий метод анализа серий наблюдений на основе подобранной модели смеси анализаторов главных компонент позволяет исследовать любое число маркеров. В отличие от лонгитюдного подхода он избавляет от необходимости подключать методы регрессионного анализа со своими неопределенностями при выборе частных моделей. Консолидирующий метод также продемонстрировал свою продуктивность, так как позволяет в предметной области раннего диагностирования заболевания получить оригинальный результат: все три варианта применения маркеров демонстрируют рост точности классификации при увеличении длины серии обследований, проще говоря, при диагностировании целесообразней использовать ряд последних измерений маркера **в совокупности**, а не набор отдельных значений. Это создает предпосылки для упреждения результатов обследований. Заметим, что обработка данных на основе регрессионного анализа перечисленные преимущества не демонстрирует.

Кроме того, небезынтересны для медицинской диагностики и частные выводы: применение tPSA более предпочтительно с точки зрения точности классификации; добавление fPSA к tPSA не повышает точность классификации (качество диагностирования), но усложняет процедуру клинических обследований. Дело в том, что в практике медицинской диагностики обычно рекомендуется использование комбинации двух типов маркеров, правда в форме отношения fPSA/tPSA (см., например, [7, 8]). Понятно, что данное отношение, достаточно произвольной природы, сводит задачу анализа данных к более простому одномерному случаю, но ценой измерения двух характеристик. Окончательный ответ могут дать исследования, проведенные с единой точки зрения на эффективность диагностирования и на базе одних и тех же тестовых данных. Но в любом случае только консолидирующий подход позволяет сначала объединить все доступные показатели состояния пациента, а затем на строгих математических основах заниматься отбором из них подмножества характеристик или их комбинаций, обеспечивающих эффективное решение задачи диагностирования.

## 5 Заключение

Лонгитюдный подход является методологически ясным, может быть использован в случае анализа широкого спектра кластеризованных данных, которые обычно возникают в исследованиях из различных областей. При анализе серий данных рассматривается только один уровень кластеризации — повторные измерения для отдельных объектов. Но наблюдения могут группироваться на более чем одном уровне (например, повторные обследования пациентов, сгруппированных по различным клиникам), и современные продольные методы позволяют справиться с ними. Интерес к анализу продольных и многоуровневых данных продолжает расти, в связи с чем были разработаны новые и более гибкие модели. Однако выделение этапа построения модели изменений в отдельных сериях вынуждает вводить дополнительные ограничения (одномерность измерений,

задание ковариат и типа регрессионных зависимостей, нормальность распределения данных), что может сказываться на эффективности решения отдельных задач анализа данных. В первую очередь речь идет об обучаемой классификации.

Консолидирующий подход на основе модели смеси анализаторов главных компонент нейтрализует перечисленные недостатки лонгитюдного подхода, при этом, безусловно, возрастает аналитическая и вычислительная трудоемкость методов решения возникающих задач (оценивание параметров модели данных, снижение размерности пространства признаков, реализация решающих процедур).

Здесь надо заметить, что, несмотря на достижения, методы анализа продольных данных широко не используются и, как представляется, доступны только для статистиков, обладающих специальными знаниями. Это еще сильнее проявляется при многомерном представлении и анализе серий данных. Здесь положительную роль должны сыграть завершённые разработки алгоритмов и программ обработки данных. Но еще более важным оказывается обогащение опыта применения соответствующих методов положительными результатами постановки и решения востребованных практикой задач.

## Литература

1. *Fitzmaurice G. M., Laird N. M., Ware J. H.* Applied longitudinal analysis. — 2nd ed. — Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2011. 701 p.
2. *Izenman A. J.* Modern multivariate statistical techniques: Regression, classification, and manifold learning. — New York, NY, USA: Springer-Verlag, 2008. 731 p.
3. *Кривенко М. П.* Снижение размерности для смеси вероятностных анализаторов главных компонент применительно к задачам медицинской диагностики // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 4. С. 4–13.
4. *Кривенко М. П.* Выбор модели данных в задачах медицинской диагностики // Информатика и её применения, 2019. Т. 13. Вып. 4. С. 27–29.
5. *Thornquist M. D., Omenn G. S., Goodman G. E., et al.* Statistical design and monitoring of the carotene and retinol efficacy trial (CARET) // Control. Clin. Trials, 1993. Vol. 14. Iss. 4. P. 308–324.
6. Dataset CARET PSA. — Diagnostic and Biomarkers Statistical (DABS) Center. <http://research.fhcrc.org/diagnostic-biomarkers-center/en/datasets.html>.
7. *Pearson J. D., Luderer A. A., Metter E. J., et al.* Longitudinal analysis of serial measurements of free and total PSA among men with and without prostatic cancer // Urology, 1996. Vol. 48. Iss. 6a. P. 4–9.
8. *Tanguay S., Begin L. R., Elhilali M. M., et al.* Comparative evaluation of total PSA, free/total PSA, and complexed PSA in prostate cancer // Urology, 2002. Vol. 59. Iss. 2. P. 261–265.

Поступила в редакцию 09.01.20

## BAYESIAN CLASSIFICATION OF SERIAL MULTIVARIATE DATA

M. P. Krivenko

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 analysis of the results of observations of a group of objects during the time when these objects can change any of their significant characteristics is considered. The goal is to describe the changes and identify the factors that determine them. Appropriate methods are known as longitudinal. The article proposes a different approach when a series of multivariable characteristics of an object makes up a single vector of the observed values. By increasing the dimension of the data, it is possible to obtain a single picture of the description of objects and to formalize the construction of a data model. To demonstrate the essence of the approach and illustrate the emerging possibilities of data analysis, the problem of early cancer diagnosis using a prostate-specific antigen biomarker is considered. It was revealed that a multivariable approach to the analysis of a series of analyzes leads to an increase in the accuracy of diagnosis.

**Keywords:** serial data classification; longitudinal analysis; consolidation approach; mixture of probabilistic principal component analyzers

**DOI:** 10.14357/08696527200103

### References

1. Fitzmaurice, G. M., N. M. Laird, and J. H. Ware. 2011. *Applied longitudinal analysis*. 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley. 701 p.
2. Izenman, A. J. 2008. *Modern multivariate statistical techniques: Regression, classification, and manifold learning*. New York, NY: Springer-Verlag. 731 p.
3. Krivenko, M. P. 2019. Snizhenie razmernosti dlya smesi veroyatnostnykh analizatorov glavnykh komponent primenitel'no k zadacham meditsinskoj diagnostiki [Dimensionality reduction for mixture of probabilistic principal component analyzers in relation to the tasks of medical diagnostics]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(3):4–15.
4. Krivenko, M. P. 2019. Vybore modeli dannykh v zadachakh meditsinskoj diagnostiki [Data model selection in medical diagnostic tasks]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 13(4):27–29.
5. Thornquist, M. D., G. S. Omenn, G. E. Goodman, et al. 1993. Statistical design and monitoring of the carotene and retinol efficacy trial (CARET). *Control. Clin. Trials* 14:308–324.
6. Diagnostic and Biomarkers Statistical (DABS) Center. Dataset CARET PSA. Available at: <http://research.fhcrc.org/diagnostic-biomarkers-center/en/datasets.html> (accessed March 4, 2020).

7. Pearson, J. D., A. A. Luderer, E. J. Metter, *et al.* 1996. Longitudinal analysis of serial measurements of free and total PSA among men with and without prostatic cancer. *Urology* 48(6a):4–9.
8. Tanguay, S., L. R. Begin, M. M. Elhilali, *et al.* 2002. Comparative evaluation of total PSA, free/total PSA, and complexed PSA in prostate cancer. *Urology* 59(2):261–265.

*Received January 9, 2020*

## **Contributor**

**Krivenko Michail P.** (b. 1946) — Doctor of Science in technology, professor, 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; mkrivenko@ipiran.ru

## ПОРОЖДЕНИЕ УГРОЗ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ\*

*А. А. Грушо<sup>1</sup>, Н. А. Грушо<sup>2</sup>, А. В. Николаев<sup>3</sup>, В. О. Писковский<sup>1</sup>, В. В. Сенчило<sup>1</sup>,  
Е. Е. Тимонина<sup>6</sup>*

**Аннотация:** Рассмотрены проблемы информационной безопасности в цифровой экономике (ЦЭ), связанные с расширением ЦЭ на фоне широкого распространения гетерогенных устройств, устаревших устройств и программного обеспечения (ПО). В частности, рассмотрены угрозы создания «ложных данных», увеличения числа «фейков» в электронных взаимодействиях экономических субъектов, мошенничества при идентификации и платежах, мошенничества с банковскими картами.

**Ключевые слова:** цифровая экономика; гетерогенные системы; информационная безопасность

**DOI:** 10.14357/08696527200104

### 1 Введение

Для целей анализа угроз в ЦЭ авторы считают достаточным ввести не определение ЦЭ, а набор признаков, характеризующих деятельность, относящуюся к ЦЭ. Первыми двумя необходимыми признаками такой деятельности, безусловно, являются цифровое кодирование данных и экономическая составляющая. Другие признаки не являются ни необходимыми, ни достаточными сами по себе. К таковым признакам можно отнести использование цифровых сетей передачи данных, манипуляции с цифровыми данными — их сбор, анализ, преобразование, генерацию, распространение, хранение и уничтожение. Особо отметим, что появление признаков ЦЭ носит гетерогенный и множественный характер. Для

---

\* Работа частично поддержана РФФИ (проект 18-29-03081).

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

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

<sup>3</sup> Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, gentoogion@mail.ru

<sup>4</sup> Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, vrvp80@yandex.ru

<sup>5</sup> Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, volodias@mail.ru

<sup>6</sup> Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, eltimon@yandex.ru

своей деятельности в ЦЭ участники используют различные по производителям и возрасту цифровые устройства и ПО.

Рассмотрим банковские карточки, широко применяемые для финансовых транзакций. Такие карты представляют собой пластиковую карту с магнитной полосой со встроенным чипом (основные стандарты ISO/IEC 7816, ISO/IEC 14443). Все чаще чипы поддерживают «коммуникацию ближнего поля», позволяя обмениваться данными с устройствами на расстоянии около 10 см. Наиболее современные чипы содержат микрокомпьютер со своей операционной системой (ОС). Развитое ПО карты позволяет использовать сложные криптографические алгоритмы при взаимодействии с терминалом. Тем не менее все еще широко распространены карты, имеющие на чипе только некоторый объем памяти, иногда защищенный на считывание и/или на запись. Основной задачей банковской карты является идентификация ее носителя как владельца счета, имеющего право на проведение транзакций для терминала.

Существуют прецеденты, когда такие задачи реализованы целиком программно, не опираясь на какое-либо специальное электронное устройство, например в эстонском Smart-ID [1].

Таким образом, вместе с надежными системами осуществления транзакций в ЦЭ применяются дешевые, но менее безопасные устройства или заменяющие устройства программные решения. При этом нет ограничений на использование менее безопасных средств в экономической деятельности. И, безусловно, современная ЦЭ нуждается в использовании глобальной сети Интернет.

## **2 Угрозы в условиях массового использования гетерогенных устройств и программного обеспечения в процессах цифровой экономики**

Рассмотрим различные модели угроз, базируясь на том, что контроль множества гетерогенных процессов затруднен. Оценим, как известные и достаточно обыденные виды деятельности и бизнеса соотносятся с ЦЭ и какие угрозы могут возникать в их процессе. Стоит оговориться, что интерес будут представлять угрозы именно с точки зрения ЦЭ, а не сами по себе ошибки в инструментах, т. е. в базовых сетевых протоколах, взломы сайтов, уязвимости в различных ОС.

Генерация данных в ЦЭ занимает ключевое место. Именно цифровые данные лежат в основе всех процессов внутри ЦЭ по определению. И естественно, что ложные данные приводят к искажению всех процессов в ЦЭ.

Итак, первый и самый очевидный тип угроз для ЦЭ связан с умышленным искажением вводимых данных [2]. На искаженных данных строятся схемы мошенничества и «отмывания» денег. Из-за мобильности и гетерогенности устройств контроль этих процессов в ЦЭ затруднен. В качестве очевидных примеров «ложных данных» можно привести ложную рекламу в интернет-магазинах, ложные отзывы под товарами и услугами в сети и т. п.

Существуют автоматизированные мошеннические системы. Например, мошенничество с короткими СМС-номерами может опираться на сетевую инфраструктуру. Смысл СМС-мошенничества заключается в том, чтобы клиент оформил подписку на некоторую «услугу». Реализуется подписка посылкой СМС-сообщения на короткий номер. Убедить клиента послать СМС на такой номер можно различными способами, например следующим: на различные тематические форумы, сайты, рассылаются ссылки, указывающие на некоторый сайт с php-скриптом, который генерирует фальшивую страницу форума, посвященного вопросам поиска в сети разных ресурсов, например книг. Допустим, пользователь ищет некий «Справочник по схемотехнике». Перейдя по ссылке <http://rwrt.ru/q3pro1.php?key=справочник+по+схемотехнике+fb2>, пользователь увидит имитацию страницы форума, на котором идет обсуждение поиска как раз нужного ему, а точнее того, который он вбил в запрос, материала. В теле сообщений дается ссылка на «файл», а на самом деле на страничку, на которой пользователю предлагается отправить СМС на короткий номер, чтобы получить код для скачивания (как вариант — для расшифрования скачанного архива или для ускорения скачивания). В комментариях рядом же идет обсуждение того, что «ничего страшного в отправке СМС нет, все работает». По факту пользователь отправкой СМС подписывается на какой-то платный сервис, никакой искомой книги (или пароля для архива) он не получает, т. е. мошенничество базируется на технологиях ЦЭ, включает в себя предоставление автоматически генерируемой ложной информации, продвижение в поисковиках сайта с этой ложной информацией, оформление СМС-подписок. Собственную безопасность владельцы подобных сайтов основывают на крайне малой сумме единичного мошенничества, ради которой клиенты не станут затевать серьезное преследование мошенников. Развитие такого сайта возможно по разным направлениям. Скрипты данного сайта могут проводить мониторинг популярных запросов в поисковых системах, подставляя текст найденных запросов в новые имитационные странички, а затем «продвигать» сгенерированные ссылки в поисковиках. Сам текст страничек может подвергаться модификации в соответствии с различными лингвистическими алгоритмами. Как критерий успешности странички можно взять число конвертаций переходов на нее и получение соответствующих СМС-подписок, т. е. данная автоматическая система может быть развита вплоть до использования современных систем искусственного интеллекта. Вероятно, так действует сайт [3]. Похожим же образом можно генерировать автоматические фишинговые странички. Заметим, никакие методы «двойного подтверждения» в данном случае как противодействие не работают, так как существенная часть технологии — это «social engineering», психологическая обработка жертвы.

### **3 Ложные заказы для осложнения бизнеса конкурентам**

Еще в самом начале интернет-торговли возникла проблема ложных заказов. Если магазин отказывался от предоплаты для увеличения оборота, то тут же



возникали проблемы. Одна из них состояла в том, что клиент отказывался от уже заказанного товара по надуманным причинам или без объяснений вообще. Публичной информации о том, что подобная тактика может использоваться против компаний, продающих товары или услуги в сети, мало, но все же есть. Например, в 2014 г. Uber обвинил другого агрегатора такси Lyft в практике ложных заказов как методе нечестной конкуренции [4]. При вызове такси сейчас часто используются различные варианты двойной аутентификации — голосовой звонок, банковская карта, номер мобильного. Но теоретически можно представить, что злоумышленник, получив доступ к пулу мобильных номеров или, скажем, к сервису краткосрочной аренды мобильных номеров, сможет собрать систему автоматической генерации ложных заказов для целевого агрегатора такси. Подобные системы генерации ложных заказов в различных областях могут представлять серьезную угрозу для ЦЭ, так как подорвут сами ее основы — использование цифрового представления данных для ускорения работы станет небезопасно, а дополнительные меры безопасности удорожат и замедлят процессы.

#### 4 Ложные копии электронных ID

Классические схемы мошенничества с кредитными картами, когда злоумышленник получает доступ к карте и фиксирует не только ее номер, но и коды безопасности, например CVV2 (Visa), CVC2 (Mastercard), широко известны [5]. Такие методы в общем случае представляют интерес как основной вектор атаки — технологии, позволяющие создать образ идентификатора. Для данного рассмотрения не важно, как был создан такой образ и в чем заключается материальная основа такого образа — то ли это просто пара длинных чисел, то ли это целиком нелегально изготовленная карта-подделка, то ли это копия программы с сертификатами или копия памяти мобильного устройства. В любом случае такая копия позволяет ее владельцу выполнять операции от имени физического или юридического лица, чей ID был скопирован. Автоматизация методов копирования электронных ID может быть достигнута различными способами [5], однако эти способы вне сети включают в себя существенную компоненту работы с различными электронными устройствами типа скиммеров, видеокамер, имитаторов клавиатур и даже макетов целых банкоматов. Большая часть этих методов объединяется жаргонным термином «кардинг». Внутри сети автоматизация сбора информации о банковских картах и прочих электронных ID также не является чем-то новым, достаточно вспомнить «фишинг» [6]. В сочетании с методами, описанными в разделе СМС-мошенничества, «фишинг» может достигнуть новых высот, автоматизируя создание фишинговых сайтов и приложений и распространяя ссылки на них средствами таргетированной рекламы.

Поскольку по своей природе электронные ID вне жестких периметров безопасности должны храниться людьми, которые часто имеют крайне поверхностное представление о природе и свойствах этих ID, то первым и основным методом

борьбы с их копированием должно быть повышение грамотности и прописывание простых и однозначных правил использования электронных документов. Набившие оскомину напоминания «не сообщайте свой PIN-код и CVV2 даже сотрудникам банка», «не храните записанный PIN рядом с картой» — необходимые, хоть и назойливые меры. Вторым по эффективности методом борьбы с копированием ID представляется устойчивость самого устройства к реверс-инжинирингу. Появление банковских карт с микрочипом в основном решило задачу усложнения копирования банковской карты до уровня, который делает порог входа очень высоким, а само мошенничество малорентабельным. Однако наметившиеся тенденции перехода на целиком программные решения вроде эстонского Smart-ID или Apple-Pay снова поднимают вопрос о легкости копирования ID, снижая порог входа для мошенников и дополняя угрозы для электронных ID традиционным векторам атак через вирусы и трояны, особенно для мобильных устройств. Третьим, довольно формальным барьером на пути мошенников к использованию чужой карты является PIN-код. Он нужен при операциях с картой через банкомат, при операциях в сети нужен CVV2 (CVC2, CVP2). Существуют много методов скрытно узнать PIN-код владельца карты, в том числе и в автоматизированном режиме [5], поэтому считать PIN методом защиты можно только формально.

Существует один класс распространенных инфраструктурных устройств, находящихся практически повсеместно вне серьезных периметров защиты и практически везде лишенных серьезного профессионального присмотра — это Wi-Fi роутеры для малого бизнеса и бытового применения. Взлом такого устройства хоть и трудоемок, однако позволяет нарушителю проводить атаки типа man-in-the-middle на транзакции в ЦЭ, подменять файлы при загрузке и выгрузке и, теоретически, проводить атаку на пользовательские гаджеты и персональные компьютеры (ПК), особенно с устаревшими версиями ОС и ПО, все уязвимости которых хорошо известны и описаны.

## **5 Проблемы с логикой бизнес-операций**

Частой практикой при создании сложного ПО стала модуляризация. Модули могут писаться разными группами, даже разными компаниями, в разное время. Каждый модуль может соответствовать всем требованиям безопасности, однако их сочетание в конечную программу иногда может приводить к некоторым нестандартным ситуациям [7, 8]. Так, в мае 2019 г. в ПО банкоматов Сбербанка была обнаружена логическая ошибка, которую некоторое время эксплуатировали мошенники. Схема мошенничества была элегантно проста. Злоумышленник вставлял свою карту в банкомат, инициировал некоторую операцию по переводу денег или оплаты услуг, но прерывал ее, изымая карту. Следующий человек, подходящий к банкомату, видел предложение вставить карту и ввести PIN. Производя эти операции, он не инициировал свою сессию, а продолжал сессию мошенника и платил за его операцию со своего счета. В этом случае, очевидно,

сбой крылся в том, что можно было изъять карту без закрытия сессии и модуль оплаты услуги продолжал работу без выведения внятной индикации характера проводимой операции.

Проблема стыковки модулей ПО, в том числе и от разных производителей, в ЦЭ приобретает новые аспекты. С развитием ЦЭ подобные «логические дыры» могут начать множиться в коммерческих системах и наносить существенный урон бизнесу и клиентам. Соответственно, предполагаемым вектором атаки в данном случае можно считать проверку злоумышленником логики стыковки модулей ПО различных устройств, таких как банкоматы и платежные терминалы. При определенных технических навыках и опыте работы поиск подобных логических ошибок может быть автоматизирован, особенно когда у устройств имеются полнофункциональные сетевые интерфейсы.

## **6 Платежные карточки транспортных систем**

Применение средств ЦЭ для оплаты использования транспортных средств стало естественным и очень удобным. Однако особенности транспортных систем предъявляют жесткие требования к применимым в них технологиям ЦЭ. Прежде всего, недопустимо блокирование транспортной системы в случае проблем с надежностью транзакций по оплате. Отказ в обслуживании транспортной системы повлечет многократно бóльшие убытки, чем если допустить потери от частичной оплаты в случае сбоя. Поскольку транспортные средства могут не иметь постоянной устойчивой связи с сетью, то терминалы в них должны обладать возможностью работать автономно, быть вандалоустойчивыми и устойчивыми к реверсивному инжинирингу, быть относительно дешевыми в производстве и обслуживании. Обязательное использование национального или банковского ID при оплате транспорта для современного общества может оказаться неприемлемым по законодательным, этическим или даже историческим причинам из-за опасений того, что человек не сможет сохранить свои перемещения в тайне, даже если захочет принять для этого меры и поступиться какими-то удобствами. Поэтому анонимные транспортные карты или их аналоги, по прогнозам авторов, еще долго будут оставаться в обороте. Анонимность транспортной карты выгодна и для бизнеса, поскольку сильно ее упрощает, снижает ее цену и не требует принятия дорогостоящих мер по защите персональной информации. Из-за невозможности обеспечить постоянную связь с сетью и невозможности привязать карту к какому-то именованному счету для постоплаты услуг самым простым технологическим решением выглядит хранение текущего баланса карты на самой карте и, возможно, дублирование его где-то на центральных серверах транспортной системы для сверки баланса. К сожалению, такое решение открывает простор для мошенничества, если имеется возможность модифицировать записи на карте. Выполненные по упрощенным технологиям транспортные карты уже стали и, вероятно, еще долгое время будут оставаться объектом повышенного интереса кардеров. Одним из примеров подобной транспортной карты слу-

жит электронная карта «Тройка» для оплаты проезда на городском транспорте и услуг городских сервисов. Аппаратно «Тройка» основывается на чипе *Mifare classic* для бесконтактных смарт-карт (стандарт *ISO 14443*) нидерландской компании *NXP*. У данного чипа известна уязвимость [9], позволяющая получать доступ ко всем криптографическим ключам карты бесконтактно и, соответственно, менять содержимое ее памяти. В сети даже существуют приложения для *OS Android*, позволяющие переписывать содержимое памяти карты «Тройка», например *TroikaDumper* [10]. Приложение устроено довольно просто, оно поддерживает две операции: сохранение дампа памяти и его запись. Положив какую-то сумму на карту (осуществив предоплату), можно снять дамп этого состояния и затем, после списания средств, «восстановить баланс» переписав старый дамп на карту.

## **7 Заключение**

Вызовы информационной безопасности в области ЦЭ будут связаны прежде всего с гетерогенными устройствами, находящимися вне серьезных периметров безопасности государственных структур и крупных корпораций, таких как различные электронные ID, платежные терминалы, смарт-карты, смартфоны и ПК, разнообразные гаджеты (см., например, [11, 12]).

В работе рассмотрены проблемы информационной безопасности в ЦЭ, связанные с ее расширением на фоне широкого распространения гетерогенных устройств, устаревших устройств и ПО.

С точки зрения информационной безопасности государства устаревшие массовые устройства, находящиеся вне серьезных периметров безопасности, ПО которых не обновляется, а информация о его уязвимостях широко доступна, могут представлять серьезную угрозу как потенциальные участники бот-сетей враждебного назначения [13].

## **Литература**

1. Грушо А. А., Воробьев М. М., Николаев А. В., Писковский В. О., Сенчило В. В., Тимонина Е. Е. Интеграция гетерогенных сетей: опыт и проблемы // *Int. J. Open Information Technologies*, 2019. Vol. 7. No. 4. P. 67–74.
2. Грушо А. А., Забежайло М. И., Грушо Н. А., Тимонина Е. Е. Архитектурные решения в задаче выявления мошенничества при анализе информационных потоков в цифровой экономике // *Информатика и её применения*, 2019. Т. 13. Вып. 2. С. 21–27.
3. Welcome to nginx on Debian! <http://wocesro.pp.ua>.
4. Uber's dirty tricks quantified: Rival counts 5,560 canceled rides. <https://money.cnn.com/2014/08/11/technology/uber-fake-ride-requests-lyft>.
5. 5 советов, как защитить себя от скиммеров. [http://bg.ru/society/5\\_sovetov\\_kak\\_zaschitit\\_sebja\\_ot\\_skimmerov-20534](http://bg.ru/society/5_sovetov_kak_zaschitit_sebja_ot_skimmerov-20534).
6. Фишинг. <https://www.banki.ru/wikibank/fishing>.

7. Грушо А. А., Забейайло М. И., Зацаринный А. А., Николаев А. В., Писковский В. О., Тимонина Е. Е. Классификация ошибочных состояний в распределенных вычислительных системах и источники их возникновения // Системы и средства информатики, 2017. Т. 27. № 2. С. 29–40.
8. Грушо А. А., Забейайло М. И., Зацаринный А. А., Николаев А. В., Писковский В. О., Сенчило В. В., Сударииков И. В., Тимонина Е. Е. Об анализе ошибочных состояний в распределенных вычислительных системах // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 1. С. 99–109.
9. Garcia F. D., van Rossum P., Verdult R., Schreur R. W. Wirelessly pickpocketing a mifare classic card // 30th IEEE Symposium on Security and Privacy Proceedings. — Washington, D.C., USA: IEEE Computer Society, 2009. P. 3–15. doi: 10.1109/SP.2009.6.
10. TroikaDumper. <https://github.com/gshevtsov/TroikaDumper>.
11. Zegzhda D., Lavrova D., Khushkev A. Detection of information security breaches in distributed control systems based on values prediction of multidimensional time series // IEEE Conference (International) on Industrial Cyber Physical Systems Proceedings. — Taipei, Taiwan: IEEE, 2019. P. 780–784. doi: 10.1109/ICPHYS.2019.8780304.
12. Pavlenko E., Zegzhda D., Poltavtseva M. Ensuring the sustainability of cyberphysical systems based on dynamic reconfiguration // IEEE Conference (International) on Industrial Cyber Physical Systems Proceedings. — Taipei, Taiwan: IEEE, 2019. P. 785–789. doi: 10.1109/ICPHYS.2019.8780193.
13. Грушо А. А., Грушо Н. А., Тимонина Е. Е. Методы защиты от массового вывода из строя слабозащищенных компьютеров цифровой экономики // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 1. С. 4–11.

Поступила в редакцию 08.02.20

---

## GENERATION OF THREATS IN HETEROGENEOUS SYSTEMS OF DIGITAL ECONOMY

*A. A. Grusho<sup>1</sup>, N. A. Grusho<sup>1</sup>, A. V. Nikolaev<sup>2</sup>, V. O. Piskovski<sup>1</sup>, V. V. Senchilo<sup>1</sup>,  
and E. E. Timonina<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>N.N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences, 4 Kosygin Str., Moscow 119991, Russian Federation

**Abstract:** The paper discusses information security concerns in the digital economy related to the expansion of the digital economy while spreading heterogeneous devices, legacy devices and software. In particular, the threats of creation of “false data,” increase of “fakes” in electronic interactions of economic entities, fraud in identification and payments, and fraud with bank cards are considered.

**Keywords:** digital economy; heterogeneous systems; information security

**DOI:** 10.14357/08696527200104

## Acknowledgments

The paper was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 18-29-03081).

## References

1. Grusho, A. A., N. A. Grusho, A. V. Nikolaev, V. O. Piskovski, V. V. Senchilo, and E. E. Timonina. 2019. Integratsiya geterogennykh setey: opyt i problemy [Integration of heterogeneous networks: Experience and problems]. *Int. J. Open Information Technologies* 7(4):67–74.
2. Grusho, A. A., N. A. Grusho, M. I. Zabezhailo, and E. E. Timonina. 2019. Arkhitekturnye resheniya v zadache vyyavleniya moshennichestva pri analize informatsionnykh potokov v tsifrovoy ekonomike [Architectural decisions in the problem of identification of fraud in the analysis of information flows in digital economy]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 13(2):21–27.
3. Welcome to nginx on Debian! Available at: <http://wocesro.pp.ua/> (accessed February 5, 2020).
4. Uber’s dirty tricks quantified: Rival counts 5,560 canceled rides. Available at: <https://money.cnn.com/2014/08/11/technology/uber-fake-ride-requests-lyft/> (accessed February 5, 2020).
5. 5 sovetov, kak zashchitit’ sebya ot skimmerov [5 tips on how to protect yourself from skimmers]. Available at: [http://bg.ru/society/5\\_sovetov\\_kak\\_zaschitit\\_sebja\\_ot\\_skimmerov-20534/](http://bg.ru/society/5_sovetov_kak_zaschitit_sebja_ot_skimmerov-20534/) (accessed February 5, 2020).
6. Fishing. Available at: <https://www.banki.ru/wikibank/fishing/> (accessed February 5, 2020).
7. Grusho, A. A., M. I. Zabezhailo, A. A. Zatsarinny, A. V. Nikolaev, V. O. Piskovski, V. V. Senchilo, and E. E. Timonina. 2017. Klassifikatsiya oshibochnykh sostoyaniy v raspredelennykh vychislitel’nykh sistemakh i istochniki ikh vozniknoveniya [Erroneous states classifications in distributed computing systems and sources of their occurrences]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 27(2):29–40.
8. Grusho, A. A., M. I. Zabezhailo, A. A. Zatsarinny, A. V. Nikolaev, V. O. Piskovski, V. V. Senchilo, I. V. Sudarikov, and E. E. Timonina. 2018. Ob analize oshibochnykh sostoyaniy v raspredelennykh vychislitel’nykh sistemakh [About the analysis of erratic statuses in the distributed computing systems]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 28(1):99–109.
9. Garcia, F. D., P. van Rossum, R. Verdult, and R. W. Schreur. 2009. Wirelessly pickpocketing a mifare classic card. *30th IEEE Symposium on Security and Privacy Proceedings*. Washington, D.C.: IEEE Computer Society. 3–15. doi: 10.1109/SP.2009.6.
10. TroikaDumper. Available at: <https://github.com/gshevtsov/TroikaDumper> (accessed February 5, 2020).
11. Zegzhda, D., D. Lavrova, and A. Khushkeev. 2019. Detection of information security breaches in distributed control systems based on values prediction of multidimensional time series. *IEEE Conference (International) on Industrial Cyber Physical Systems Proceedings*. Taipei, Taiwan: IEEE. 780–784. doi: 10.1109/ICPHYS.2019.8780304.

12. Pavlenko, E., D. P. Zegzhda, and M. A. Poltavtseva. 2019. Ensuring the sustainability of cyberphysical systems based on dynamic reconfiguration. *IEEE Conference (International) on Industrial Cyber Physical Systems Proceedings*. Taipei, Taiwan: IEEE. 785–789. doi: 10.1109/ICPHYS.2019.8780193.
13. Grusho, A. A., N. A. Grusho, and E. E. Timonina. 2019. Metody zashchity ot massovogo vyvoda iz stroya slabozashchishchennykh komp'yuterov tsifrovoy ekonomiki [Methods of protection against mass inactivation of low protected computers of digital economy]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(1):4–11.

*Received February 8, 2020*

## Contributors

**Grusho Alexander A.** (b. 1946) — Doctor of Science in physics and mathematics, 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 119133, Russian Federation; grusho@yandex.ru

**Grusho Nikolai A.** (b. 1982) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics, 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; info@itake.ru

**Nikolaev Andrei V.** (b. 1973) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics, scientist, N.N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences, 4 Kosygin Str., Moscow 119991, Russian Federation; gentoorion@mail.ru

**Piskovski Viktor O.** (b. 1963) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics, 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; vpv80@yandex.ru

**Senchilo Vladimir V.** (b. 1963) — 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; volodias@mail.ru

**Timonina Elena E.** (b. 1952) — Doctor of Science in technology, professor, 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; eltimon@yandex.ru



## МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ КОНФЛИКТОВ АГЕНТОВ В ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМАХ

*С. В. Листонад<sup>1</sup>, И. А. Кириков<sup>2</sup>*

**Аннотация:** Статья посвящена разработке метода идентификации конфликтов между агентами в гибридных интеллектуальных многоагентных системах (ГиИМАС). Идентификация конфликтов — первый этап процесса управления конфликтами агентом-фасилитатором (АФ) при моделировании ГиИМАС коллективного решения проблем экспертами «за круглым столом». На данном этапе определяется тип (проблемно-, процессно-ориентированный) и величина напряженности конфликта между каждой парой агентов системы. Это позволит управлять процессом коллективных «рассуждений», активируя различные типы коллективного мышления в зависимости от характера и интенсивности конфликта, что обеспечит релевантность ГиИМАС малым коллективам экспертов, успешно решающим проблемы с высокой комбинаторной сложностью, неоднородностью, недоопределенностью и другими НЕ-факторами.

**Ключевые слова:** конфликт; гибридная интеллектуальная многоагентная система; коллектив экспертов

**DOI:** 10.14357/08696527200105

### 1 Введение

Практика разработки и применения систем гибридного и синергетического искусственного интеллекта [1–6] показала, что компьютерное моделирование коллективного решения проблем и принятия решений наследует не только достоинства оригинала, такие как всесторонний анализ проблем, демократичность, повышение качества принимаемых решений, но и его недостатки: снижение скорости принятия решений, сложность распределения задач и интеграции частных решений, возникновение конфликтов, заводящих процесс решения проблемы в тупик. Управление конфликтами в таких системах позволит по аналогии с реальными малыми коллективами экспертов подавлять деструктивные проявления конфликта и стимулировать конструктивные [7], обеспечивающие развитие отношений между субъектами, высвобождающие накапливающееся внутреннее напряжение, тем самым обеспечивая сохранение связей, актуализирующие разные

<sup>1</sup>Калининградский филиал Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, ser-list-post@yandex.ru

<sup>2</sup>Калининградский филиал Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, baltbipiran@mail.ru



позиции и мнения по поводу возникающих в коллективе проблем и способствующие поиску оптимальных способов их решения [8].

Для повышения релевантности систем гибридного и синергетического искусственного интеллекта малым коллективам экспертов, решающих проблемы «за круглым столом», в [9] предложена модель ГиИМАС с проблемно- и процессно-ориентированными конфликтами. Данная модель интегрирует концепцию гибридных интеллектуальных систем А. В. Колесникова [1] и аппарат многоагентных систем в смысле В. Б. Тарасова [10]. Цель настоящей работы — разработка метода идентификации конфликтов между агентами в рамках предложенной модели, обеспечивающего получение исходных данных для методов управления конфликтами в ГиИМАС.

## 2 Модель гибридной интеллектуальной многоагентной системы для управления проблемно- и процессно-ориентированными конфликтами

Формально ГиИМАС для моделирования проблемно- и процессно-ориентированных конфликтов определяется следующим образом:

$$\text{himas} = \langle \text{AG}^*, \text{env}, \text{INT}, \text{ORG}, \{\text{cnfm}\} \rangle.$$

Здесь  $\text{AG}^* = \{\text{ag}_1, \dots, \text{ag}_n, \text{ag}^{\text{dm}}, \text{ag}^{\text{fc}}\}$  — множество агентов, включающее агентов-экспертов (АЭ)  $\text{ag}_i$ ,  $i \in \mathbb{N}$ ,  $1 \leq i \leq n$ , агента, принимающего решения (АПР), —  $\text{ag}^{\text{dm}}$  и АФ, управляющего взаимодействиями агентов при решении проблемы с учетом возможных конфликтов между ними, —  $\text{ag}^{\text{fc}}$ ;  $n$  — число АЭ;  $\text{env}$  — концептуальная модель внешней среды ГиИМАС;  $\text{INT}^*$  — элементы структурирования взаимодействий агентов, описываемые выражением:

$$\text{INT} = \{\text{prot}_{\text{cnfm}}, \text{lang}, \text{ont}\},$$

где  $\text{prot}_{\text{cnfm}}$  — протокол взаимодействия агентов, позволяющий организовать управление конфликтами агентов,  $\text{lang}$  — язык передачи сообщений,  $\text{ont}$  — модель предметной области;  $\text{ORG}$  — множество архитектур ГиИМАС;  $\{\text{cnfm}\}$  — множество концептуальных моделей макроуровневых процессов в ГиИМАС:  $\text{cnfm}$  — модель процесса управления конфликтами при коллективном решении проблем

$$\text{cnfm} = \langle \text{CNF}, \text{cnfcl}, \text{cmkb}, \text{act}_{\text{cnfm}}, \text{ACT}_{\text{agcr}} \rangle.$$

Здесь  $\text{CNF}$  — матрица, описывающая конфликт между каждой парой агентов кортежем, представленным выражением:

$$\text{cnf}_{ij \text{ cnft}} = \langle \text{id}_i, \text{id}_j, \text{cnfin}, \text{cnft}, \text{ACT}_{\text{agcr } i}, \text{ACT}_{\text{agcr } j} \rangle, \quad (1)$$

где  $id_i$  и  $id_j$  — идентификаторы агентов-субъектов конфликта,  $cnfn \in [0, 1]$  — напряженность конфликта,  $cnft$  — символьная переменная «тип конфликта», определенная на множестве  $CNFT = \{\text{«проблемно-ориентированный»}, \text{«процессно-ориентированный»}\}$ ,  $ACT_{agcr i}, ACT_{agcr j} \subseteq ACT_{agcr}$  — множества допустимых действий агентов  $ag_i$  и  $ag_j$  по разрешению противоречий;  $cnfcl$  — классификатор конфликтов агентов, идентифицирующий их характер и оценивающий напряженность, т. е. формирующий для каждой пары агентов значение элемента матрицы **CNF**;  $cmkb$  — база знаний об эффективности методов управления конфликтами в зависимости от характеристик проблемы и конфликтов между агентами, которая разрабатывается по результатам тестирования алгоритмов, реализующих эти методы;  $act_{cnfm}$  — функция «управление конфликтом» АФ, обеспечивающая идентификацию конфликтов с помощью классификатора  $cnfcl$  и инициализацию методов гетерогенного мышления [11, 12] в соответствии с базой знаний  $cmkb$  и протоколом  $prot_{cnfm}$ ;  $ACT_{agcr}$  — множество допустимых действий агентов по разрешению противоречий.

Таким образом, функция ГиИМАС для моделирования проблемно- и процессно-ориентированных конфликтов описывается выражением:

$$act_{himas} = \left( \bigcup_{ag \in AG^*} act_{ag} \right) \cup ACT_{agcr} \cup act_{cnfm} \cup act_{col}. \quad (2)$$

Здесь  $act_{ag}$  — функция АЭ из множества  $AG^*$ , описываемая формулой:

$$act_{ag} = (met_{ag}, it_{ag}), \quad ag \in AG^*, \quad \left| \bigcup_{ag \in AG^*} it_{ag} \right| \geq 2,$$

где  $met_{ag}$  — метод решения проблемы,  $it_{ag}$  — интеллектуальная технология, в рамках которой реализован метод  $met_{ag}$ ;  $act_{col}$  — коллективная функция ГиИМАС, конструируемая динамически в соответствии с протоколом  $prot_{cnfm}$ .

В отличие от функции ГиИМАС, представленной в [5], выражение (2) дополнено множеством активностей  $ACT_{agcr}$  агентов, направленных на преодоление противоречий, которое обеспечивает моделирование конфликта, и элементом  $act_{cnfm}$ , отвечающим за управление конфликтами в ГиИМАС в соответствии с моделью ромба группового принятия решений [11].

### 3 Метод идентификации конфликтов между агентами

Идентификация конфликтов агентов в ГиИМАС выполняется классификатором конфликтов  $cnfcl$  и состоит в установлении значений элементов  $cnf_{ij\ cnft}$

матрицы **CNF**, специфицированных выражением (1), для каждой пары АЭ  $ag_i$ ,  $i \in \mathbb{N}$ ,  $1 \leq i \leq n$  и типа конфликта  $cnft \in \{\text{«проблемно-ориентированный»}, \text{«процессно-ориентированный»}\}$ .

Для агентов  $ag_i$  и  $ag_j$  значения первой и второй компоненты кортежа  $cnf_{i,j}^{cnft}$  устанавливаются равными значениям идентификаторов агентов  $ag_i$  и  $ag_j$ .

Расчет третьей компоненты кортежа  $cnf_{i,j}^{cnft}$  — напряженности конфликта — различается в зависимости от того, предлагают ли АЭ решения частей проблемы (задач, поставленных перед ними АПР) или альтернативные решения проблемы в целом. Если АЭ решают задачи, для оценки напряженности конфликта необходима функция оценки совместимости частных решений, которая разрабатывается при построении модели предметной области проблемы. Совместимость решений — скалярная функция  $cmp(dec_k, dec_l) \in [0, 1]$ , описывающая возможность одновременной реализации двух частных решений  $dec_k$  и  $dec_l$ , вид которой зависит от решаемой проблемы. В таком случае напряженность конфликта между двумя агентами определяется в соответствии с выражением:

$$cnfin = \sum_{k=1}^{N_i} \sum_{l=1}^{N_j} cmp(dec_k, dec_l) (N_i N_j)^{-1}, r_1^{\text{res res}}(dec_k, ag_i) \circ r_1^{\text{res res}}(dec_l, ag_j), \quad (3)$$

где  $N_i$  и  $N_j$  — число частных решений, найденных агентами  $ag_i$  и  $ag_j$  соответственно;  $r_1^{\text{res res}}$  — отношение «быть найденным» между частным решением и предложившим его агентом;  $\circ$  — операция склеивания концептов.

Если АЭ решают проблему в целом и предлагают альтернативные решения, для оценки напряженности конфликта сопоставляются предпочтения агентов. Для этого АЭ либо непосредственно оценивают каждую из предложенных альтернатив, либо ранжируют их, либо выполняют попарные сравнения. Метод непосредственной оценки используется, когда обеспечивается четкое различие между альтернативами или альтернативы поддаются непосредственному измерению [13]. Метод ранжирования применяется, если необходимо упорядочить альтернативы в соответствии с каким-либо качеством, но по причине сложности практического или теоретического характера невозможно его точное измерение. Попарные сравнения производятся, когда число альтернатив велико или различия между альтернативами настолько малы, что непосредственная оценка или ранжирование не обеспечивают их разумного упорядочения.

Если АЭ ГиИМАС непосредственно оценивают альтернативы, т. е. в ее концептуальной модели установлены следующие отношения:

$$r_1^{\text{res est}}(dec_k, est_{ki}) \circ r_1^{\text{est res}}(est_{ki}, ag_i) \circ r_1^{\text{res est}}(dec_k, est_{kj}) \circ r_1^{\text{est res}}(est_{kj}, ag_j), \quad (4)$$

где  $est_{ki}$  и  $est_{kj} \in [0, 1]$  — оценки альтернативного решения  $dec_k$  проблемы, выполненные агентами  $ag_i$  и  $ag_j$  соответственно;  $r_1^{res\ est}$  — отношение «иметь оценку» между альтернативным решением проблемы и его оценкой;  $r_1^{est\ res}$  — отношение «быть выполненной» между оценкой и выполнившим ее агентом, то напряженность конфликта между двумя агентами определяется выражением

$$cnfin = \sum_{k=1}^N (est_{ki} - est_{kj})^2 N^{-1}, \quad (5)$$

где  $N$  — число альтернативных решений проблемы, найденных агентами.

Если при решении проблемы АЭ ГиИМАС выполняют ранжирование альтернатив, то в ее концептуальной модели также установлены отношения в соответствии с выражением (4), но оценки  $est_{ki}, est_{kj} \in \mathbb{N}$ ,  $1 \leq est_{ki}, est_{kj} \leq N$  представляют собой ранги альтернативного решения  $dec_k$  проблемы, присвоенные агентами  $ag_i$  и  $ag_j$  соответственно. В этом случае напряженность конфликта между двумя агентами может быть определена мерой на основе коэффициента конкордации Кендалла [14] в соответствии с выражением:

$$cnfin = 1 - 3(N^3 - N)^{-1} \sum_{k=1}^N (est_{ki} + est_{kj} - N - 1)^2. \quad (6)$$

Если АЭ ГиИМАС выполняют попарное сравнение альтернатив, то в ее концептуальной модели должны быть установлены следующие отношения:

$$r_1^{res\ act}(ag_i, act_1) \circ r_1^{act\ res}(act_1, DEC) \circ r_2^{res\ res}(DEC, DEC),$$

где  $act_1$  — действие агента «попарное сравнение альтернативных решений»;  $DEC$  — множество альтернативных решений проблемы;  $r_1^{res\ act}$  — отношение «выполнять действие» между агентом и выполняемым им действием;  $r_1^{act\ res}$  — отношение «иметь объектом» между действием и ресурсом, над которым оно выполняется;  $r_2^{res\ res}$  — отношение «быть предпочтительнее», установленное на множестве альтернативных решений. В результате попарного сравнения альтернативных решений  $dec \in DEC$  составляется матрица предпочтений **PRF**, в которой числа  $prf_{kl}$  показывают, сколько раз альтернатива  $dec_k$  была предпочтительнее альтернативы  $dec_l$  по мнению пары агентов  $ag_i$  и  $ag_j$ . Очевидно, что при полном согласии агентов и отсутствии конфликта  $N!$  ячеек матрицы будут содержать число 2, а в остальных ячейках будут нули. При максимально выраженном конфликте каждая ячейка будет содержать 1, кроме ячеек главной диагонали. В этом случае напряженность конфликта определяется мерой:

$$cnfin = 1 - (2N(N - 1))^{-1} \sum_{k=1}^N \sum_{i=k+1}^N (prf_{kl} - prf_{lk})^2. \quad (7)$$

Тип конфликта, т. е. четвертая компонента кортежа  $\text{cnf}_{ij\text{cnft}}$ , определяется причиной, обуславливающей конфликт. Если конфликты возникают из-за противоречащих друг другу решений проблемы, то  $\text{cnft} = \text{«проблемно-ориентированный»}$ . Такие конфликты увеличивают результативность деятельности ГиИМАС, потому что агенты предлагают, оценивают и дорабатывают различные решения, приближая их к оптимальным. Конфликты, связанные с технологией и способами решения поставленной проблемы, распределением ролей и ответственности агентов, называются процессно-ориентированными, т. е.  $\text{cnft} = \text{«процессно-ориентированный»}$ .

Пятая и шестая компоненты кортежа  $\text{cnf}_{ij\text{cnft}}$  заполняются множествами  $\text{ACT}_{\text{agcr } i}$  и  $\text{ACT}_{\text{agcr } j}$  допустимых снимающих противоречия действий, определяемых разработчиками агентов  $\text{ag}_i$  и  $\text{ag}_j$  при их создании.

Таким образом, сформированная матрица элементов **CNF** описывает конфликты между каждой парой АЭ в ГиИМАС и может использоваться для оценки общей ситуации принятия решений и управления конфликтами в ней.

#### 4 Оценка напряженности конфликтов в гибридных интеллектуальных многоагентных системах

Показатель напряженности конфликтов заданного типа в ГиИМАС в целом описывается выражением:

$$\text{cnfin}_{h\text{cnft}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n 2\text{cnfin}_{ij\text{cnft}}(n-2)!(n!)^{-1}, \quad (8)$$

где  $\text{cnfin}_{ij\text{cnft}} = \text{Pr}_3(\text{cnf}_{ij\text{cnft}})$  — интенсивность конфликта типа  $\text{cnft}$  между парой агентов  $\text{ag}_i$  и  $\text{ag}_j$ .

Показатель напряженности конфликта в ГиИМАС (8), а также показатели интенсивности конфликтов между парами агентов  $\text{cnfin}_{ij\text{cnft}}$ , рассчитанные в соответствии с выражениями (3), (5)–(7), — четкие переменные входной лингвистической переменной «конфликт», используемой при реализации функции «управление конфликтом»  $\text{act}_{\text{cnfm}}$ .

Лингвистическая переменная «конфликт» представляется выражением:

$$\text{cnfl} = \langle \beta, T, U_{\text{cnfin}}, G, M \rangle.$$

Здесь  $\beta = \text{«конфликт»}$  — наименование лингвистической переменной;  $T = \{\text{«отсутствует»}; \text{«незначительный»}; \text{«умеренный»}; \text{«острый»}\}$  — термножество ее значений;  $U_{\text{cnfin}} = E(\text{cnfin}_{h\text{cnft}}) = E(\text{cnfin}_{ij\text{cnft}}) = [0; 1]$  — универсум нечетких переменных, где  $E$  — область значений функции;  $G = \emptyset$  — процедура образования из элементов множества  $T$  новых термов;

$M = \{\mu_{\text{нет}}(\text{cnf}), \mu_{\text{слабый}}(\text{cnf}), \mu_{\text{умеренный}}(\text{cnf}), \mu_{\text{острый}}(\text{cnf})\}$  — процедура, ставящая в соответствие каждому терму множества  $T$  осмысленное содержание путем формирования нечеткого множества.

Функция АФ «управление конфликтом»  $\text{act}_{\text{cnf,m}}$  реализуется с использованием нечеткой базы знаний об эффективности методов гетерогенного мышления и разрешения конфликтов в зависимости от характеристик проблемы, стадии процесса ее решения, текущей ситуации решения в ГиИМАС и характеристик конфликта. Данная база знаний должна быть разработана по результатам тестирования алгоритмов, реализующих эти методы.

Таким образом, благодаря АФ, инициирующему применение различных методов гетерогенного мышления и разрешения конфликтов, а также АЭ, реализующим различные технологии искусственного интеллекта, ГиИМАС динамически перестраивает алгоритм своего функционирования, каждый раз при работе над проблемой вырабатывая релевантный ей гибридный интеллектуальный метод решения. В результате ГиИМАС, моделирующая конфликты агентов, способна регулировать интенсивность взаимодействия агентов и активировать релевантные ситуации методы коллективного гетерогенного мышления в зависимости от напряженности и типа конфликтов, т. е. конфликты выполняют сигнальную функцию.

Моделирование конфликтов обеспечивает развитие ГиИМАС и ее самоорганизацию в сильном смысле [15], т. е. возникающую за счет распределенного взаимодействия агентов без явного централизованного управления этим процессом одним из них. В результате предложенные модели конфликтов и процесса управления ими повысят релевантность ГиИМАС малым коллективам экспертов, решающих проблемы «за круглым столом».

## 5 Заключение

Рассмотрена модель ГиИМАС для управления проблемно- и процессно-ориентированными конфликтами, позволяющая моделировать процесс коллективного решения проблем на основе анализа напряженности конфликта, применять эффективные методы организации коллективных рассуждений, такие как гетерогенное мышление, чтобы вырабатывать решения, сопоставимые с решениями реальных коллективов экспертов. Разработан метод идентификации конфликтов между агентами в ГиИМАС.

Показано, как результаты работы метода могут быть использованы для оценки интенсивности конфликтов в ГиИМАС в целом и управления конфликтами. Управление конфликтами обеспечивает развитие ГиИМАС и ее самоорганизацию в сильном смысле, в результате чего она динамически перестраивает алгоритм своего функционирования, каждый раз при работе над проблемой вырабатывая релевантный ей гибридный интеллектуальный метод решения.

## Литература

1. Колесников А. В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки. — СПб.: СПбГТУ, 2001. 711 с.
2. Рыбина Г. В. Интегрированные экспертные системы: современное состояние, проблемы и тенденции // Известия РАН. Теория и системы управления, 2002. № 5. С. 111–126.
3. Ярушкина Н. Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. — М.: Финансы и статистика, 2004. 320 с.
4. Колесников А. В., Кириков И. А., Листопад С. В. Гибридные интеллектуальные системы с самоорганизацией: координация, согласованность, спор. — М.: ИПИ РАН, 2014. 189 с.
5. Кириков И. А., Колесников А. В., Листопад С. В., Румовская С. Б. «Виртуальный консилиум» — инструментальная среда поддержки принятия сложных диагностических решений // Информатика и её применения, 2016. Т. 10. Вып. 3. С. 81–90.
6. Колесников А. В., Листопад С. В. Модель гибридной интеллектуальной многоагентной системы гетерогенного мышления для информационной подготовки оперативных решений в региональных электрических сетях // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 4. С. 31–41.
7. Гришина Н. В. Психология конфликта. — 2-е изд. — СПб.: Питер, 2008. 544 с.
8. Сидоренков А. В. Конфликт в малой группе: понятие, функции, виды и модель // Северо-Кавказский психологический вестник, 2008. Т. 6. № 4. С. 22–28.
9. Листопад С. В., Кириков И. А. Моделирование конфликтов агентов в гибридных интеллектуальных многоагентных системах // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 3. С. 139–148.
10. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. — М.: Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.
11. Kaner S., Lind L., Toldi C., Fisk S., Beger D. The facilitator's guide to participatory decision-making. — San Francisco, CA, USA: Jossey-Bass, 2011. 368 p.
12. Kolesnikov A. V., Listopad S. V. Hybrid intelligent multiagent system of heterogeneous thinking for solving the problem of restoring the distribution power grid after failures // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems: Research Papers Collection. — Minsk: BGUIR, 2019. P. 133–138.
13. Луицкий Ю. М., Каревина Н. П. Об автоматизации экспертных оценок // Математические машины и системы, 2008. Т. 1. № 1. С. 151–162.
14. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. — М.: Статистика, 1980. 263 с.
15. Serugendo G. D. M., Gleizes M.-P., Karageorgos A. Self-organization in multiagent systems // Knowl. Eng. Rev., 2005. Vol. 20. Iss. 2. P. 165–189.

Поступила в редакцию 31.01.20

## AGENT CONFLICT IDENTIFICATION METHOD IN HYBRID INTELLIGENT MULTIAGENT SYSTEMS

S. V. Listopad and I. A. Kirikov

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

**Abstract:** The article is devoted to the development of a method for identifying conflicts between agents in hybrid intelligent multiagent systems. Conflict identification is the first step in the process of conflict management by the facilitator agent of the hybrid intellectual multiagent system modeling collective problem solving by experts at the round table. At this stage, the type (problem-oriented, process-oriented) and the intensity of the conflict between each pair of agents of the system are determined. This will ensure the management of the collective “reasoning” process by activating different types of collective thinking depending on the nature and intensity of the conflict, which will increase the relevance of hybrid intelligent multiagent systems to expert teams which successfully solve problems with high combinatorial complexity, heterogeneity, underdetermination, and other non-factors.

**Keywords:** conflict; hybrid intelligent multiagent system; expert team

**DOI:** 10.14357/08696527200105

### References

1. Kolesnikov, A. V. 2001. *Gibridnye intellektual'nye sistemy. Teoriya i tekhnologiya razrabotki* [Hybrid intelligent systems: Theory and technology of development]. St. Petersburg: SPbGTU. 711 p.
2. Rybina, G. V. 2002. Integrated expert systems: State of the art, problems, and trends. *J. Comput. Sys. Sc. Int.* 41(5):780–793.
3. Yarushkina, N. G. 2004. *Osnovy teorii nechetkikh i gibridnykh sistem* [Fundamentals of the theory of fuzzy and hybrid systems]. Moscow: Finansy i statistika. 320 p.
4. Kolesnikov, A. V., I. A. Kirikov, and S. V. Listopad. 2014. *Gibridnye intellektual'nye sistemy s samoorganizatsiey: koordinatsiya, soglasovannost', spor* [Hybrid intelligent systems with self-organization: Coordination, consistency, dispute]. Moscow: IPI RAN. 189 p.
5. Kirikov, I. A., A. V. Kolesnikov, S. V. Listopad, and S. B. Rumovskaya. 2016. “Virtual'nyy konsilium” — instrumental'naya sreda podderzhki prinyatiya slozhnykh diagnosticheskikh resheniy [“Virtual council” — source environment supporting complex diagnostic decision making]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 10(3):81–90.
6. Kolesnikov, A. V., and S. V. Listopad. 2018. Model' gibridnoy intellektual'noy mnogoagentnoy sistemy geterogennogo myshleniya dlya informatsionnoy podgotovki operativnykh resheniy v regional'nykh elektricheskikh setyakh [Model of a hybrid intelligent



- multiagent system of heterogeneous thinking for preparation of information about operational decisions in a regional power system]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 28(4):31–41.
7. Grishina, N. V. 2008. *Psikhologiya konflikta* [Psychology of conflict]. St. Petersburg: Piter. 544 p.
  8. Sidorenkov, A. V. 2008. Konflikt v maloy gruppe: ponyatie, funktsii, vidy i model' [Conflict in a small group: Concept, functions, forms and model]. *Severo-Kavkazskiy psikhologicheskii vestnik* [North Caucasian Psychological J.] 6(4):22–28.
  9. Listopad, S. V., and I. A. Kirikov. 2019. Modelirovanie konfliktov agentov v gibridnykh intellektual'nykh mnogoagentnykh sistemakh [Modeling of agent conflicts in hybrid intelligent multi-agent systems]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(3):139–148.
  10. Tarasov, V. B. 2002. *Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual'nym organizatsiyam: filosofiya, psikhologiya, informatika* [From multiagent systems to intelligent organizations: Philosophy, psychology, and informatics]. Moscow: Editorial URSS. 352 p.
  11. Kaner, S., L. Lind, C. Toldi, S. Fisk, and D. Beger. 2011. *The facilitator's guide to participatory decision-making*. San Francisco, CA: Jossey-Bass. 368 p.
  12. Kolesnikov, A. V., and S. V. Listopad. 2019. Hybrid intelligent multiagent system of heterogeneous thinking for solving the problem of restoring the distribution power grid after failures. *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems: Research Papers Collection*. Minsk: BGUIR. 133–138.
  13. Lisetskiy, Yu. M., and N. P. Karevina. 2008. Ob avtomatizatsii ekspertnykh otsenok [About automation of expert evaluations]. *Matematicheskie mashiny i sistemy* [Mathematical Machines and Systems] 1(1):151–162.
  14. Beshelev, S. D., and F. G. Gurvich. 1980. *Matematiko-statisticheskie metody ekspertnykh otsenok* [Mathematical and statistical methods of expert estimates]. Moscow: Statistika. 263 p.
  15. Serugendo, G. D. M., M.-P. Gleizes, and A. Karageorgos. 2005. Self-organization in multiagent systems. *Knowl. Eng. Rev.* 20(2):165–189.

Received January 31, 2020

## Contributors

**Listopad Sergey V.** (b. 1984) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior 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; ser-list-post@yandex.ru

**Kirikov Igor A.** (b. 1955) — Candidate of Science (PhD) in technology, director, Kaliningrad Branch of the Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 5 Gostinaya Str., Kaliningrad 236000, Russian Federation; baltbipiran@mail.ru

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

С. П. Ковалёв<sup>1</sup>

**Аннотация:** Рассматриваются принципы формирования, актуализации, верификации и применения информационного обеспечения цифрового двойника энергетической системы — виртуальной копии, достоверно воспроизводящей и задающей состояние и поведение оригинала в реальном времени. Предложена шестислойная архитектура цифрового двойника, включающая онтологическую модель, цифровую схему, документацию в электронной форме, информационную модель объекта, оперативную информацию от измерительных приборов и сенсоров, математические и имитационные модели. Показана структура взаимодействия слоев цифрового двойника, включая циклы верификации, в ходе функционирования объекта. Предложен формальный алгебраический подход к сборке целостного цифрового двойника распределенной энергосистемы из двойников составляющих, основанный на теории категорий — перспективном математическом аппарате модельно-ориентированной системной инженерии. Описаны принципы реализации слоев цифрового двойника с примерами на базе программного обеспечения с открытым исходным кодом.

**Ключевые слова:** цифровой двойник; онтология; информационная модель; оперативная информация; порождающее проектирование; распределенная энергетическая система

**DOI:** 10.14357/08696527200106

### 1 Введение

Согласно ГОСТ 34.003-90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения», информационное обеспечение автоматизированной системы — это *«совокупность форм документов, классификаторов, нормативной базы и реализованных решений по объемам, размещению и формам существования информации, применяемой в автоматизированной системе при ее функционировании»*. Для высокоавтоматизированных технологических объектов главным принципом организации информационного обеспечения, в соответствии с подходом модельно-ориентированной системной инженерии и парадигмой четвертой промышленной революции (Industrie 4.0), является формирование цифрового

---

<sup>1</sup>Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, kovalyov@sibnet.ru

двойника (Digital Twin) — виртуальной копии объекта, достоверно воспроизводящей и задающей состояние и поведение оригинала в реальном времени [1]. Цифровой двойник образует фундамент системы управления объектом. Структура и начальное наполнение информационного обеспечения цифрового двойника формируются в цикле цифрового проектирования и строительства объекта. По мере функционирования построенного объекта постоянно поступает новая оперативная информация, верифицируются и корректируются другие данные.

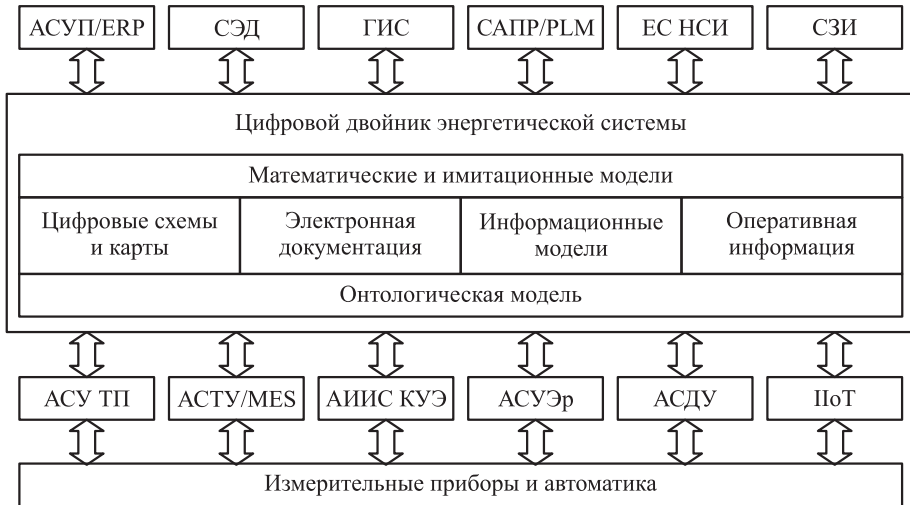
Среди технологических объектов, управление которыми требует высокой степени автоматизации, выделяются современные территориально распределенные энергетические системы, включающие разнообразные энергоприемники, локальное генерирующее оборудование на возобновляемых источниках и накопители электроэнергии. В настоящее время многие проблемы формирования, актуализации, верификации и применения цифровых двойников в энергетике не решены и находятся в стадии интенсивных исследований. Технологии формирования и применения цифровых двойников, заимствованные «по умолчанию» из машиностроения, приживаются в энергетике с большим трудом, требуют громоздких дорогостоящих программных инструментов и очень высокой квалификации персонала. Не ясно, как автоматически собрать целостный цифровой двойник большой распределенной энергосистемы из двойников составляющих с учетом правил их соединения. Очень медленно развиваются технологии типа порождающего проектирования (Generative Design), позволяющие автоматически находить оптимальные проектные решения по энергоснабжению [2]. В настоящей статье предложены подходы к решению этих проблем в ходе проектирования информационного обеспечения систем управления энергетическими объектами.

## 2 Информационная архитектура цифрового двойника энергосистемы

Основываясь на обширном опыте проектирования информационно-управляющих систем для больших объектов энергетики (см., например, [3]) и зданий (см., например, [4]), выделено 6 слоев (информационных компонентов) цифрового двойника энергосистемы (рис. 1):

- (1) онтологическая модель;
- (2) цифровые схемы и карты;
- (3) электронная документация;
- (4) информационные модели;
- (5) оперативная информация;
- (6) математические и имитационные модели.

В ходе функционирования энергосистемы слои интенсивно взаимодействуют друг с другом, в том числе в режиме циклов с обратной связью: в число



**Рис. 1** Информационная архитектура цифрового двойника энергосистемы

вариантов использования каждого слоя входит предоставление данных другим слоям, ссылочная привязка данных других слоев, верификация данных, а также генерация структуры слоев (рис. 2).

Для сложных объектов возникает проблема сборки целостного цифрового двойника из двойников составляющих с учетом правил их соединения. Здесь, по существу, требуется виртуально воспроизвести на цифровых моделях процесс постройки энергосистемы объекта. Существует перспективный подход к решению этой проблемы на базе теории категорий — математического аппарата модельно-ориентированной системной инженерии [5]. Схема энергосистемы представляется диаграммой в категории, объектами которой служат алгебраические представления моделей системных единиц, а морфизмы описывают действия по сборке моделей систем из моделей составляющих. Для этой диаграммы вычисляется универсальная конструкция копредела (colimit) — алгебраического аналога сборки системы. Копредел дает возможность строго рассчитывать интегральные характеристики и поведение энергосистемы по информации о ее составляющих. Аппарат теории категорий также позволяет в ряде случаев решать обратные задачи — вычислять структуру схем, обеспечивающих достижение заданных значений интегральных характеристик [6]. Тем самым открывается возможность решать задачи типа порождающего проектирования в энергетике.

Для информационных моделей теоретико-категорное представление известно [7]. Здесь объектами служат множества данных различных типов, а морфизмы отвечают реляционным ссылкам, посредством которых конструируются сложные



**Рис. 2** Взаимодействие слоев цифрового двойника

массивы данных. При помощи копределов, произведений и других универсальных конструкций в такой категории строятся составные типы, в том числе задаваемые таблицами и целыми базами данных.

### 3 Принципы реализации слоев цифрового двойника

#### 3.1 Онтологическая модель

Согласно ГОСТ Р 56272-2014 / ISO / TS 15926-8:2011 «Системы промышленной автоматизации и интеграция. Интеграция данных жизненного цикла перерабатывающих предприятий, включая нефтяные и газовые производственные предприятия. Часть 8. Практические методы интеграции распределенных систем: практическая реализация сетевого языка онтологий (OWL)», онтологией предметной области (онтологической моделью) называется «формальное представление множества понятий в рамках некоторой области, а также отношения между этими понятиями». Онтологию можно рассматривать как набор

утверждений, вытекающих из определений понятий. Онтология предназначена для обеспечения однозначности и корректности именования и интерпретации понятий всеми участниками предметной деятельности, в первую очередь в условиях применения автоматизированных систем.

Основной структурой онтологии является граф в форме дерева, в узлах которого находятся понятия (классы), а ребра описывают отношение «частное–общее» (наследование, таксономию). Понятия имеют свойства (атрибуты) различных типов. Между понятиями могут быть заданы различные отношения (эквивалентность, близость, «часть–целое» и т. д.). В рамках онтологии могут быть описаны отдельные экземпляры понятий (индивиды), для которых в явном виде задаются значения свойств и факты нахождения в тех или иных отношениях с другими индивидами. Наконец, могут быть сформулированы утверждения об элементах онтологии, которые должны быть справедливыми на любом информационном массиве, удовлетворяющем этой онтологии (аксиомы). Примером аксиомы служит утверждение о симметричности некоторого отношения (что характерно для отношений эквивалентности и близости).

Для представления онтологии в машино-читаемой форме применяется язык OWL (Ontology Web Language), рекомендованный международным консорциумом W3C. Язык OWL позволяет декларировать классы, описывать их атрибутивный состав, задавать наследование и другие отношения, вводить индивиды путем инстанцирования классов. Правила записи аксиом и вывода теорем из них в OWL основаны на так называемой дескрипционной логике, близкой к логике первого порядка. Предусматривается возможность совместного использования онтологий: термины из одной онтологии могут ссылаться на термины другой, что позволяет создавать распределенные хранилища онтологических моделей. Такие хранилища заполняются триплетами (triple), представляющими элементарные единицы онтологического знания в форме утверждений вида «*подлежащее–сказуемое–дополнение*» (например, «*хвост–виляет–собакой*»). Примером хранилища триплетов является OpenLink Virtuoso<sup>1</sup>.

Элементы онтологии итеративно извлекаются из письменных источников предметной области: стандартов, учебников, документов, баз данных и т. д. Результаты извлечения проходят процедуры анализа, нормирования и дополнения сообществом предметных экспертов, пользующихся доверием [8].

В энергетике онтологическое моделирование применяется практически со времени его возникновения. Известен относительно ранний (2005–2008 гг.) успешный опыт онтологического описания выполнения измерений для целей коммерческого учета электроэнергии (КУЭ), которое легло в основу автоматизированной информационно-измерительной системы КУЭ очень крупного распределенного объекта потребления [9]. Основные метрологические понятия для этой онтологии были извлечены из стандарта ГОСТ Р 8.596-2002 «Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения». В части объектов и средств

---

<sup>1</sup>OpenLink Virtuoso. <https://virtuoso.openlinksw.com>.

измерений естественным источником понятий и отношений послужила модель CIM (Common Information Model), изложенная в стандартах серий IEC 61968, 61970 и 62325. А к 2010 г. на базе CIM под эгидой общества инженеров энергетических систем IEEE (IEEE Power and Energy Society) была разработана онтологическая модель энергетических систем, предназначенная для использования в качестве базового протокола (языка) взаимодействия агентов в мультиагентных системах управления в энергетике [10]. (Напомним, что в любой мультиагентной системе язык общения агентов в обязательном порядке базируется на какой-либо онтологии.) Более «свежий» пример применения онтологий в энергетике — автоматическое порождение гарантированно корректных проектных решений в области релейной защиты и автоматики (РЗА) подстанций [11]. Здесь по онтологическому представлению однолинейной схемы подстанции, построенному в соответствии с CIM и стандартами серии IEC 61850, проводится автоматический логический вывод состава и функций РЗА согласно правилам проектирования, записанным на языке дескрипционной логики.

В качестве основных онтологических понятий энергетики выступают ресурсы энергосистемы (PowerSystemResource), частными случаями которых служат всевозможные виды оборудования, приборов, средств связи, контроллеров и программных модулей. Предусматриваются классы для задания физических величин. В дополнение к понятиям CIM вводятся понятия, отношения и аксиомы для группировки ресурсов в различных разрезах: по типу/марке, по физическому (географическому) размещению, по организационной (субъектной) структуре, по функциональному признаку (включая компоновку измерительных каналов), по взаимозаменяемости и истории фактических замен и др. В качестве индивидов заводятся записи всевозможных справочников.

Основными вариантами использования онтологии являются:

- генерация структуры информационной модели;
- управление нормативно-справочной информацией;
- разработка прикладных протоколов взаимодействия, в том числе для мультиагентных систем;
- формирование моделей качества сервисов;
- разработка форм документов и видеокладов пользовательского интерфейса;
- вывод и верификация проектных решений;
- изучение предметной области.

### 3.2 Цифровые схемы и карты

Согласно ГОСТ 2.102-2013 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Виды и комплектность конструкторских документов», схема — это *«документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними»*. Схема объекта может быть

привязана к физическому расположению его структурных единиц в пространстве — для этого она наносится на подложку, условно изображающую фрагмент земной поверхности (карту) или несущего здания/сооружения (план). Схемы предназначены для того, чтобы показывать человеку наглядный целостный образ структуры и состояния большого объекта. Схемы позволяют визуально оценить главные факторы, определяющие мгновенное состояние объекта, точно рассчитать которые может оказаться трудно или вовсе невозможно.

Цифровые схемы предполагают развитые возможности навигации, в том числе изменение масштаба, поворот, перемещение между участками, позиционирование по заданным координатам. Также схемы делаются интерактивными: они размечаются ссылками на описания элементов объекта в информационной модели и снабжаются индикаторами всевозможной оперативной информации — объема перетоков энергии, состояния коммутационных аппаратов, значений показателей технического ресурса и др.

Схемы хранятся в виде многослойных векторных графических файлов, аннотированных атрибутивной информацией (в первую очередь уникальными идентификаторами элементов объекта в информационной модели). Для формирования и актуализации схем применяются как специализированные средства (системы автоматизации проектирования технологических объектов и инструменты цифровой картографии), так и графические редакторы общего назначения.

В энергетике часто используются цифровые схемы различных типов, например:

- однолинейные схемы энергообеспечения объектов (мнемосхемы);
- планы расположения оборудования и проводок;
- карты-схемы размещения энергетических объектов, линий электропередачи и трубопроводов на местности.

Основными вариантами использования схем являются:

- наглядная визуализация целостного образа структуры и состояния объекта;
- оперативная индикация критических участков объекта;
- поиск информации о свойствах и состоянии составных частей объекта по топологическим критериям.

### 3.3 Электронная документация

Согласно ГОСТ Р 7.0.83-2012 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Электронные издания. Основные виды и выходные сведения», электронный документ — это (как и следует ожидать) *«документ в цифровой форме, для использования которого необходимы средства вычислительной техники или иные специализированные устройства для воспроизведения текста, звука, изображения»*. Перевод документов в электронный вид позволяет радикально снизить издержки, связанные с доступом к ним



и с внесением изменений. Электронная документация на объект предназначена для оперативного обеспечения всех участников деятельности, связанной с объектом, информацией об объекте в значимой (в том числе юридически) отчуждаемой форме.

Электронные документы служат стандартной входной и выходной формой для многих программных инструментов подготовки и обработки информации: от простых редакторов текстов и изображений до систем автоматизации проектирования и систем управления предприятием. Такие инструменты могут интегрироваться с информационными компонентами, перенося данные из хранилищ компонентов в документы и в обратном направлении. Также электронные документы могут возникать в качестве копий бумажных оригиналов при помощи сканирующих устройств. Из электронных документов, приходящих извне, извлекается наполнение различных информационных компонентов.

Электронная документация хранится в архиве, упорядоченном согласно иерархии категорий, отражающих назначение и содержание документов. Каждый документ имеет цифровую карточку, состоящую из уникального идентификатора, набора метаданных и перечня файлов, составляющих содержание документа. К метаданным документа, в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО 23081-1-2008 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Процессы управления документами. Метаданные для документов. Часть 1. Принципы» и практикой электронного документооборота, относятся:

- автор;
- наименование;
- категория;
- язык;
- аннотация;
- ключевые слова;
- версия;
- история изменения состояния документа;
- ссылки на связанные документы;
- уникальные идентификаторы составных частей объекта, к которым относится документ;
- ограничения доступа к документу.

Для реализации архива целесообразно выбрать готовую систему электронного документооборота (например, Alfresco<sup>1</sup>).

Документальное сопровождение функционирования энергетической инфраструктуры включает документы из следующих категорий:

---

<sup>1</sup>Alfresco Community Editions. <https://www.alfresco.com/platform/alfresco-community-editions>.

- заказы на строительство и модернизацию энергетических объектов;
- проектно-сметная документация на энергетические объекты;
- паспорта энергетических объектов;
- инструкции по эксплуатации энергетических объектов;
- ведомости технического обслуживания энергетических объектов;
- документация на программное обеспечение;
- контракты между субъектами энергетического рынка;
- акты сдачи-приемки по контрактам;
- журналы оперативного управления энергетическими объектами;
- нормативная и методическая документация.

Основными вариантами использования электронной документации являются:

- представление информации об объекте в значимой (в том числе юридически) отчуждаемой форме;
- выявление и проверка оснований для выполнения воздействий на объект;
- извлечение онтологических понятий и аксиом;
- извлечение схем и карт объекта;
- актуализация и верификация информационной модели объекта;
- актуализация и верификация оперативной информации;
- поиск документов по контексту и по метаданным;
- накопление архива документации на объект.

### 3.4 Информационные модели

Согласно ГОСТ 34.003-90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения», информационная модель — это *«модель объекта, представленная в виде информации, описывающей существенные для данного рассмотрения параметры и переменные величины объекта, связи между ними, входы и выходы объекта и позволяющая путем подачи на модель информации об изменениях входных величин моделировать возможные состояния объекта»*. Элементы информационной модели часто называются мастер-данными. Информационная модель предназначена для использования в качестве полного непротиворечивого структурного описания объекта в форме, пригодной для эффективной обработки при помощи современных компьютерных технологий.

Информационная модель часто оформляется как реляционная база данных (например, в PostgreSQL<sup>1</sup>). Структура этой базы естественным образом извлекается путем трансформации из онтологии предметной области [9]. При трансформации онтологические классы переходят в таблицы, свойства — в атрибуты, отношения — в ссылочные ключи и связующие таблицы, экземпляры — в записи. Основным источником наполнения такой базы данных служит проектная документация, причем многие системы автоматизации проектирования технологических объектов позволяют накапливать мастер-данные непосредственно по мере проектирования. Если же производится «оцифровка» ранее построенного объекта, то мастер-данные формируются путем его обследования — документарного и натурного. В частности, для энергетических систем обследование такого рода (аудит) входит в цикл энергетического менеджмента согласно стандарту ГОСТ Р ИСО 50001-2012 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению». В свою очередь, если мастер-данные уже были накоплены и верифицированы, то обследование может быть произведено в полностью виртуальном режиме.

Для доступа к информационной модели применяется стандартный язык запросов SQL (Structured Query Language). Кроме того, можно выгружать информационную модель в текст на языке OWL, оформляя описания элементов объекта как экземпляры соответствующих онтологических понятий.

При всех своих достоинствах реляционные базы данных обладают существенным недостатком: они плохо приспособлены для хранения истории изменений значений атрибутов и особенно отношений между составляющими объекта. Ярким примером служит отношение «часть–целое на интервале времени» («TemporalWholePart»), введенное в стандартах серии ГОСТ Р ИСО 15926 с естественной целью отразить в информационной модели замену запасных частей в ходе эксплуатации технических изделий и ставшее показательным примером трудностей в реализации требований этих стандартов средствами современных информационных технологий. Один из способов обхода этого затруднения состоит в том, чтобы хранить полную историю изменений информационной модели в форме машиночитаемого журнала событий, а в реляционной базе размещать только актуальные мастер-данные. Этот подход известен под названием CQRS (Command Query Responsibility Segregation) [12]. В условиях его применения ретроспективная конфигурация объекта на любой момент времени может быть восстановлена путем «проигрывания» начального участка журнала до этого момента над пустой базой. Можно также распределять фрагменты журнала, описывающие формирование мастер-данных разных частей объекта, между разными хранилищами, находящимися «близко» к этим частям. Такая возможность важна при информационном моделировании инфраструктуры децентрализованных распределенных энергетических систем.

---

<sup>1</sup>PostgreSQL. <https://www.postgresql.org>.

Основными вариантами использования информационной модели являются:

- максимально точная привязка оперативных данных к составным частям объекта;
- предоставление мастер-данных расчетным и имитационным моделям поведения объекта;
- присвоение уникальных идентификаторов и кодов объекту, его составным частям и элементам;
- разграничение доступа по составным частям объектам;
- ведение истории изменений объекта в ходе жизненного цикла;
- проверка полноты и непротиворечивости онтологической модели путем сверки с фактической структурой объекта;
- поиск информации о составных частях объекта по значениям характеристик;
- генерация и верификация проектно-сметной документации на объект;
- визуализация состава и характеристик объекта в виде реестров и на схемах.

### 3.5 Оперативная информация

Согласно ГОСТ 34.003-90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения», оперативная информация автоматизированной системы — это *«информация, отражающая на данный момент времени состояние объекта, на который направлена деятельность автоматизированной системы»*. Наиболее высококачественными считаются единицы оперативной информации, полученные путем полностью автоматического сбора с надлежащим образом проверенных (аттестованных) средств измерений с нормированной погрешностью. Оперативная информация предназначена для достоверной оценки мгновенного состояния объекта автоматизации.

К оперативной информации относятся следующие массивы данных:

- временные ряды результатов периодических измерений физических величин;
- журналы событий, в том числе возникающих путем телесигнализации;
- маршрутные журналы передвижных единиц объекта;
- потоки аудиовизуальной информации об объекте;
- массивы значений экономических показателей, возникающих в ходе функционирования рынков и торговых площадок;
- результаты оперативных расчетов и прогнозирования.

Эти данные поступают от следующих источников:

- датчики;
- устройства телеметрии и телесигнализации;

- устройства для цифровой аудио-, фото- и видеозаписи;
- входящие документы;
- автоматизированные рабочие места пользователей;
- расчетные и имитационные модели;
- смежные информационные системы.

Каждый элемент оперативных данных снабжается метаданными, такими как:

- тип элемента;
- время возникновения элемента;
- идентификатор источника элемента;
- идентификатор процесса, в ходе которого возник элемент.

Хранение оперативной информации включает два уровня: первичный и вторичный. На первичный уровень хранения оперативные данные поступают непосредственно по мере прихода от источников. Первичное хранилище должно успевать размещать данные и снабжать их необходимыми метаданными в темпе поступления, поэтому оно часто реализуется как NoSQL-база данных (например, MongoDB<sup>1</sup>), разделенная на контейнеры по источникам. Для дальнейшего анализа оперативная информация перемещается во вторичное хранилище, где она выстраивается вдоль различных измерений. Вторичное хранилище часто состоит из OLAP-кубов, конструируемых в той или иной системе аналитической отчетности (например, Mondrian<sup>2</sup>).

Основными вариантами использования оперативной информации являются:

- оценка степени исполнения обязательств субъектов рынка по контрактам;
- оперативное обнаружение выхода параметров состояния объекта за пределы штатных диапазонов значений, включая аварийные ситуации;
- предоставление данных о состоянии объекта математическим и имитационным моделям объекта;
- накопление статистики по фактическому поведению объекта в различных условиях;
- поиск закономерностей в поведении объекта;
- структурная и параметрическая идентификация и верификация информационной модели объекта;
- верификация математических и имитационных моделей, в том числе ретропрогнозирование;
- генерация и верификация оперативной отчетной документации;
- визуализация параметров состояния объекта в условно реальном времени в виде таблиц, графиков, диаграмм и на схемах.

---

<sup>1</sup>MongoDB. <https://www.mongodb.com>.

<sup>2</sup>Mondrian. <https://community.hitachivantara.com/docs/DOC-1009853>.

### 3.6 Математические и имитационные модели

Математические и имитационные модели в составе цифрового двойника предназначены для выполнения следующих действий:

- достоверное определение состояния объекта в реальном времени;
- достоверное предсказание поведения объекта в штатных и нештатных условиях;
- достоверное порождение управляющих воздействий на объект.

При помощи таких моделей производится оценка всевозможных воздействий на объекты в ходе его жизненного цикла (в том числе не осуществлявшихся физически), прогнозирование последствий воздействий, выработка мер по предотвращению негативных последствий. Главным критерием качества моделей является достоверность. Предусматриваются мощные механизмы калибровки моделей в целях повышения их достоверности, в том числе путем машинного обучения [13]. В целях обеспечения удобного доступа к моделям в составе цифрового двойника их часто оформляют как (микро)сервисы и хранят в соответствующем каталоге [14].

Основными вариантами использования математических моделей энергетических систем являются:

- оценка и прогнозирование генерации, потребления, хранения энергоресурсов во всех аспектах;
- оценка и прогнозирование пропускной способности сегментов энергосетей;
- расчет и виртуальная отработка режимов, уставок и переключений;
- предсказательный мониторинг состояния оборудования, оценка аварийности и потребности в техническом обслуживании;
- калибровка и верификация моделей и управляющих алгоритмов;
- виртуальная апробация и оценка проектных решений;
- обучение и виртуальная тренировка персонала энергообъектов.

## 4 Заключение

Проектные решения для информационного обеспечения цифрового двойника, предложенные в настоящей работе, позволяют сформировать удобную в использовании и малозатратную в эксплуатации виртуальную копию энергосистемы, способную воспроизводить состояние и поведение оригинала с достаточной для практических целей степенью полноты, достоверности и оперативности. Предложенные решения прошли апробацию в цикле разработки макета программного комплекса ведения цифровых двойников энергосистем активных потребителей,

где, следуя современному подходу [15], применялось преимущественно программное обеспечение с открытым исходным кодом. Макет позволяет рассчитывать оптимальные конфигурации энергосистем и выполнять реалистичную имитацию их поведения, в том числе в переходных режимах (переключение между источниками). Можно ожидать, что в ходе дальнейшего масштабирования комплекса до промышленного уровня готовности и широкого внедрения возникнут новые задачи для дальнейших исследований.

## Литература

1. *Madni A. M., Madni C. C., Lucero S. D.* Leveraging digital twin technology in model-based systems engineering // *Systems*, 2019. Vol. 7. Iss. 1. Art. No. 7. 13 p.
2. *Ковалёв С. П.* Разработка технологии и программной платформы порождающего проектирования энергетических систем // *Управление развитием крупномасштабных систем: Мат-лы XI Междунар. конф.* — М.: ИПУ РАН, 2018. Т. I. С. 463–465.
3. *Андрюшкевич С. К., Ковалёв С. П.* Динамическое связывание аспектов в крупномасштабных системах технологического управления // *Вычислительные технологии*, 2011. Т. 16. № 6. С. 3–12.
4. *Марьясин О. Ю.* Проектирование мультиагентной системы управления зданием с использованием онтологий // *Онтология проектирования*, 2018. Т. 8. № 3(29). С. 387–399.
5. *Ковалёв С. П.* Методы теории категорий в модельно-ориентированной системной инженерии // *Информатика и её применения*, 2017. Т. 11. Вып. 3. С. 42–50.
6. *Ковалёв С. П.* Теория категорий как математическая прагматика модельно-ориентированной системной инженерии // *Информатика и её применения*, 2018. Т. 12. Вып. 1. С. 95–104.
7. *Spivak D., Kent R.* Ologs: A categorical framework for knowledge representation // *PloS One*, 2012. Vol. 7. Art. No. e24274.
8. *Загоруйко Н. Г., Гусев В. Д., Завертайлов А. В., Ковалёв С. П., Налётов А. М., Саломатина Н. В.* Система ONTOGRID для автоматизации процессов построения онтологий предметных областей // *Автометрия*, 2005. Т. 41. № 5. С. 13–25.
9. *Ковалёв С. П.* Применение онтологий при разработке распределенных автоматизированных информационно-измерительных систем // *Автометрия*, 2008. Т. 44. № 2. С. 41–49.
10. *Catterson V. M., Baker P. C., Davidson E. M., McArthur S. D. J.* An upper ontology for power engineering applications — IEEE Power and Energy Society Multi-Agent Systems Working Group, 2010. <http://sites.ieee.org/pes-mas/upper-ontology>.
11. *Волошин А. А., Волошин Е. А., Бусыгин Т. Г.* Разработка системы автоматического синтеза тестовых сценариев и проверки правильности выполнения ПНР комплексов РЗА ЦПС // *Вести в электроэнергетике*, 2017. № 4(90). С. 44–50.
12. *Fowler M.* CQRS. 2011. <https://martinfowler.com/bliki/CQRS.html>.
13. *Frolov D.* How machine learning empowers models for digital twins // *Benchmark*, July 2018. P. 48–53.
14. *Qia Q., Taao F., Zuoa Y., Zhaob D.* Digital twin service towards smart manufacturing // *Proc. CIRP*, 2018. Vol. 72. P. 237–242.

15. Damjanovic-Behrendt V., Behrendt W. An open source approach to the design and implementation of Digital Twins for Smart Manufacturing // Int. J. Comput. Integ. M., 2019. doi: 10.1080/0951192X.2019.1599436.

Поступила в редакцию 22.05.19

---

---

## INFORMATION ARCHITECTURE OF THE POWER SYSTEM DIGITAL TWIN

S. P. Kovalyov

V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences,  
65 Profsoyuznaya Str., Moscow 117997, Russian Federation

**Abstract:** The principles of formation, updating, verification, and application of information basis of the power system digital twin, viz. a virtual copy that accurately reproduces and specifies the state and behavior of the original in real time are considered. A six-layer digital twin architecture is proposed which includes an ontological model, a digital schema, electronic documentation, an information model of the facility, real-time data from meters and sensors, and mathematical and simulation models. The structure of the interaction of digital twin layers during the facility operation is shown, including verification cycles. The formal algebraic approach to building a holistic digital twin of the distributed energy system from twins of components is proposed on the basis of the category theory which is considered as the appropriate mathematical device of model-based systems engineering. The principles of implementation of digital twin layers are described, with examples based on open source software.

**Keywords:** digital twin; ontology; information model; real-time data; generative design; distributed energy system

**DOI:** 10.14357/08696527200106

### References

1. Madni, A. M., C. C. Madni, and S. D. Lucero. 2019. Leveraging digital twin technology in model-based systems engineering. *Systems* 7(1):7. 13 p.
2. Kovalyov, S. P. 2018. Razrabotka tekhnologii i programmnoy platformy porozhdayushchego proektirovaniya energeticheskikh sistem [Towards a technology and a software platform for generative design of power systems]. *11th Conference (International) "Management of Large-Scale Systems Development" Proceedings*. Moscow. I:463–465.
3. Andryushkevich, S. K., and S. P. Kovalyov. 2011. Dinamicheskoe svyazyvanie aspektov v krupnomasshtabnykh sistemakh tekhnologicheskogo upravleniya [Dynamic weaving of aspects of large-scale industrial control systems]. *Vychislitel'nye tekhnologii* [J. Computational Technologies] 16(6):3–12.



4. Maryasin, O. Yu. 2018. Proektirovanie mul'tiagentnoy sistemy upravleniya zdaniem s ispol'zovaniem ontologii [Design of multi-agent building management system with ontologies]. *Ontologiya proektirovaniya* [Ontology of Designing] 8(3):387–399.
5. Kovalyov, S. P. 2017. Metody teorii kategoriy v model'no-orientirovannoy sistemnoy inzhenerii [Methods of category theory in model-based systems engineering]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 11(3):42–50.
6. Kovalyov, S. P. 2018. Teoriya kategoriy kak matematicheskaya pragmatika model'no-orientirovannoy sistemnoy inzhenerii [Category theory as a mathematical pragmatics of model-based systems engineering]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 12(1):95–104.
7. Spivak, D., and R. Kent. 2012. Ologs: A categorical framework for knowledge representation. *PLoS One* 7:e24274.
8. Zagoruiko, N. G., V. D. Gusev, A. V. Zavertailov, S. P. Kovalyov, A. M. Naletov, and N. V. Salomatina. 2005. ONTOGRID system for automatic construction of subject domain ontologies. *Optoelectronics Instrumentation Data Processing* 41(5):93–104.
9. Kovalyov, S. P. 2008. Domain engineering of distributed measurement systems. *Optoelectronics Instrumentation Data Processing* 44(2):125–130.
10. Catterson, V. M., P. C. Baker, E. M. Davidson, and S. D. J. McArthur. 2010. An upper ontology for power engineering applications. IEEE Power and Energy Society Multi-Agent Systems Working Group. Available at: <http://sites.ieee.org/pemas/upper-ontology/> (accessed February 26, 2020).
11. Voloshin, A. A., E. A. Voloshin, and T. G. Busygin. 2017. Razrabotka sistemy avtomaticheskogo sinteza testovykh stszenariy i proverki pravil'nosti vypolneniya PNR kompleksov RZA TSPS [Development of a system for automatic synthesis of test scenarios and validation of commissioning of DSS RPA complexes]. *Vesti v elektroenergetike* [News in the Electric Power Industry] 4(90):44–50.
12. Fowler, M. 2011. CQRS. Available at: <https://martinfowler.com/bliki/CQRS.html> (accessed February 26, 2020).
13. Frolov, D. 2018. How machine learning empowers models for digital twins. *Benchmark* 6:48–53.
14. Qia, Q., F. TAO, Y. ZUO, and Y. ZHAO. 2018. Digital twin service towards smart manufacturing. *Proc. CIRP* 72:237–242.
15. Damjanovic-Behrendt, V., and W. Behrendt. 2019. An open source approach to the design and implementation of Digital Twins for Smart Manufacturing. *Int. J. Comput. Integ. M.* doi: 10.1080/0951192X.2019.1599436.

*Received May 22, 2019*

## Contributor

**Kovalyov Sergey P.** (b. 1972) — Doctor of Science in physics and mathematics, leading scientist, V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, 65 Profsoyuznaya Str., Moscow 117997, Russian Federation; [kovalyov@sibnet.ru](mailto:kovalyov@sibnet.ru)

## ОСОБЕННОСТИ МНОГОЯДЕРНОСТИ И МНОГОПОТОЧНОСТИ В СЕТЕВЫХ ПРОЦЕССОРАХ

*В. Б. Егоров*<sup>1</sup>

**Аннотация:** В универсальных высокопроизводительных процессорах максимально совмещаются разнообразные подходы к распараллеливанию вычислений, в том числе многоядерность и многопоточность. Из-за трудности количественной оценки эффективности многоядерности и многопоточности, а также вследствие их существенной взаимозависимости в универсальных серверных процессорах компании-разработчики последних расставляют в своих продуктах разные акценты, основываясь на внутрифирменных оценках или следуя фирменным традициям. Между тем анализ особенностей применения сетевых процессоров (СП), а также учет специфики работающих на них операционных систем и прикладных программ дают возможность сделать, хотя бы на качественном уровне, вывод о предпочтительности в СП многоядерности перед многопоточностью. Этот вывод на практике подтверждается превалированием в СП архитектуры ARM, отвергающей в абсолютном большинстве своих воплощений многопоточность в пользу агрессивной многоядерности.

**Ключевые слова:** ARM; архитектура процессора; многопоточность; многоядерность; параллелизм вычислений; сетевой процессор

**DOI:** 10.14357/08696527200107

### 1 Введение

Повышение производительности — одна из главных задач разработчиков процессоров. Не полагаясь только на технологические достижения микроэлектроники, они вводят разнообразные структурные усовершенствования, среди которых важное место занимает параллелизм вычислений во всех его проявлениях: суперскалярности, многопоточности, многоядерности и мультипроцессорности. Универсальные высокопроизводительные процессоры максимально совмещают все эти подходы [1]. Однако уровни параллелизма взаимозависимы, и на практике из-за их взаимного влияния приходится искать разумные компромиссы. Критерии для поиска таких компромиссов во многом зависят от назначения и области применения процессора. К одной из таких областей, предъявляющих специфические требования к параллелизму вычислений, относятся СП.

Качественный анализ соотношения таких широко применяемых форм распараллеливания вычислений в процессорах, как многопоточность и многоядерность, позволяет выявить специфические с точки зрения этих форм особенности

---

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

СП и наметить предпочтительные для них направления развития параллелизма вычислений.

## 2 Соотношение многоядерности и многопоточности

На стыке тысячелетий микроэлектроника преодолела рубеж в миллиард транзисторов на кристалле кремния, но востребованность нового «зарубежья» оказалась под вопросом в рамках моноядерной парадигмы процессоров. Проблему обещали решить высокоинтегрированные интеллектуальные системы на кристалле (СнК), объединившие процессор с контроллерами ввода-вывода и разного рода специализированным оборудованием. Однако более высокая интеграция СнК сопровождалась и более узкой их специализацией, которая ограничивала области применения и, как следствие, потенциальные объемы выпуска; уменьшение же объемов выпуска удорожало продукты, нивелировало преимущества интеграции и в конечном счете ставило под сомнение экономическую целесообразность развития микроэлектроники в этом направлении. Лишь немногие категории СнК сумели утвердиться на рынке, в их число вошли СП, обязанные растущим массовым спросом постоянному расширению в мировом масштабе сетевой инфраструктуры и перманентной интеллектуализации всех ее компонентов.

Между тем в новом тысячелетии интеграция собственно процессоров обрела второе дыхание. Толчком к этому, может быть на первый взгляд несколько неожиданно, послужило развитие широкодоступной беспроводной связи, породившее такой феномен, как «облачные» вычисления. «Облачная» инфраструктура, предоставляемая как сервис многочисленным пользователям разнообразных гаджетов, востребовала громадные объемы процессорных ресурсов, компактно сосредоточенных в серверах «облачных» центров обработки данных (ЦОД). Так, в важный показатель экономической эффективности ЦОД превратилась «плотность процессоров» на единицу объема серверного пространства. В конкурентной погоне за этим показателем поставщики серверов для ЦОД стали быстрыми темпами наращивать в них число процессоров, а производители процессоров — число ядер в своих продуктах, ориентированных на серверные применения. Текущие достижения ведущих в этой области компаний представлены в таблице.

Показатели интеграции современных серверных процессоров

Компания	Семейство процессоров	Максимальное число ядер	Число потоков в ядре	Максимальное суммарное число потоков
Marvell	ThunderX	48	1	48
Oracle	SPARC M8	32	8	256
AMD	EPYC	32	2	64
Intel	Xeon	28	2	56
IBM	POWER8	12	8	96

В таблицу не случайно включены характеристики многопоточности. Компании, предлагающие многопоточные процессоры, любят делать акцент именно на максимальном суммарном числе потоков как наиболее впечатляющей характеристике их продуктов. Более того, нередко многочисленные потоки представляются некими «логическими процессорами» [2] или «виртуальными ядрами» [3]. Однако поток не является ни логическим процессором, ни виртуальным ядром. В отличие от ядер потоки разделяют кэши всех уровней, поэтому многопоточность способна дать эффект лишь тогда, когда все исполняемые ядром потоки принадлежат одной программе. Распараллеливание потоков программы на несколько процессорных ядер может ускорить ее выполнение при слабой взаимозависимости потоков по данным. Но запуск нескольких программ разными потоками на одном ядре лишь ухудшит ситуацию из-за постоянных конфликтов в кэшах, в том числе кэшах адресных таблиц, так как разные программы работают в разных виртуальных пространствах. Например, в частном случае решения на одном процессорном ядре некой тестовой задачи, запрограммированной для разного числа потоков, самое быстрое решение получилось с одним-единственным потоком. Результат оказался хуже при небольшом числе (от 2 до 10) потоков и заметно ухудшился при большем их числе (18 и более) [4]. В другом тестовом примере вычисления интеграла на четырехъядерном процессоре вариантами программы с одним и четырьмя потоками при определенных условиях однопотоковая программа также выполнялась быстрее четырехпоточковой [5].

Вероятно, именно доступность универсальных многоядерных процессоров, поддержанная легкостью наращивания их числа в серверах благодаря мультипроцессорной технологии «лезвий» (blades), во многом стимулировала использование серверов для решения ранее не свойственных им специфических задач, таких, например, как виртуализация сетевых функций [6], а также способствовала активному применению в ЦОД разных форм виртуализации и автоматизации управления и администрирования [7]. Эти полезные возможности стали даваться едва ли не даром, так как дополнительные накладные расходы на виртуализацию или программное определение ЦОД зачастую просто утилизировали технологический избыток серверных ресурсов [8].

### 3 Условия эффективности многопоточности

В настоящее время быстродействие процессоров настолько выше быстродействия памяти, что иногда большая часть процессорного времени тратится впустую на ожидание данных из памяти. И ситуация только ухудшается, поскольку быстродействие процессоров растет более быстрыми темпами по сравнению с быстродействием памяти. Ключевое преимущество многопоточности заключается в возможности переключения программы на другой поток, пока текущий простаивает в ожидании необходимых ему данных из памяти. Традиционному процессору без специальных средств поддержки многопоточности для переключения на альтернативный поток необходимо программно сменить

контекст потока, на что может тратиться больше времени, чем теряется в процессах из-за ожидания данных. Для получения выигрыша от многопоточности альтернативные потоки должны быть готовы к немедленному исполнению, а их переключение желательно осуществлять мгновенно. Эту задачу решает одновременная многопоточность (ОМП).

Процессоры с ОМП снабжаются специальной аппаратурой, которая каждому потоку предоставляет персональный контекст, включающий в типичном случае комплект универсальных регистров и средства предвыборки инструкций данного потока. Считается, что такие добавки несущественно увеличивают оборудование процессора, так как общей для всех потоков остается большая его часть: рабочие конвейеры, сопроцессоры и кэши всех уровней. Однако нельзя упускать из виду, что ОМП требует введения некоего механизма диспетчеризации потоков, который может быть достаточно сложным, включающим, например, в каждом контексте контроллеры прерываний с таймерами для принудительного взаимного прерывания потоков по истечении временных квот или средства программного назначения потокам динамических приоритетов со стороны приложений [9].

В целом количественно оценить эффективность ОМП не представляется возможным. Она зависит от слишком многих факторов: особенностей решаемого алгоритма, методов его программирования, реализации многопоточности на уровне аппаратуры процессора и операционной системы. В итоге в некоторых случаях, как было показано на частных примерах выше, многопоточность не только не дает ускорения вычислений, но может привести к снижению производительности. Чтобы ОМП ускорила выполнение программы, необходимо соблюдение целого ряда условий:

- в исходном алгоритме должен присутствовать параллелизм, допускающий одновременное выполнение нескольких действий;
- в рабочем коде программистом или компилятором должны быть организованы соответствующие этим действиям потоки;
- при исполнении кода потоки не должны тормозиться взаимными блокировками на разделяемых аппаратных ресурсах (рабочих конвейерах, ускорителях) и при доступе к общим данным (семафорами, мьютексами).

Наконец, эффективность ОМП прямо зависит от качества механизма диспетчеризации потоков. Действительно, «результатом запуска совместно множества потоков в одно и то же время над одними и теми же данными, объектами и функциями может стать кошмар, если нет хороших средств управления всем этим» [10].

Сложность объективной оценки эффективности ОМП косвенно, но показательно проявляется в разнице подходов, видимо во многом интуитивных, к ее реализации различными компаниями. В то время как Oracle в процессорах семейства SPARC и IBM в процессорах семейства POWER традиционно снабжают процессорные ядра восемью потоками, Intel во всех своих процессорах с фирменной технологией HyperThreading ограничивается двумя потоками на ядро.

Этой же нормы придерживается и компания AMD (см. таблицу). Разумеется, увеличение числа потоков ОМП при благоприятном стечении обстоятельств дает выигрыш в производительности. Например, по некоторым оценкам в восьмипоточном процессоре POWER5 ОМП позволяет получить повышение суммарной производительности до 60%, в то время как в двухпоточном процессоре Хеон она дает выигрыш максимум 30% [11]. Вопрос однако в том, оправдываются ли дополнительные аппаратные и энергетические затраты на ОМП итоговым интегральным повышением производительности. С учетом массовости использования процессоров Intel в самом широком спектре применений, гораздо более широко, чем процессоров SPARC и POWER, компанию трудно заподозрить в некомпетентности или небрежении к запросам пользователей. Более вероятно предположение, что внутрифирменные оценки эффекта от ОМП не стимулируют увеличивать число поддерживаемых процессорным ядром потоков сверх двух.

Еще более радикальную позицию в отношении ОМП занимает компания ARM, полагая более выгодным тиражировать на кристалле процессорные ядра, а не оснащать их средствами многопоточности. По оценкам апологетов архитектуры ARM [12], четырехъядерный процессор, хотя он и занимает бóльшую площадь кремния, потребляет мощности меньше, чем одноядерный четырехпоточный процессор, причем выигрыш достигает 46%. Кроме того, выполнение программы двумя потоками на одном ядре увеличивает число обращений к кэшу на 42% по сравнению с выполнением одним потоком, в то время как при работе той же программы на двух ядрах, наоборот, число обращений к кэшу уменьшается на 37%. Вероятно следуя этим оценкам, ARM практически полностью отказалась в своих процессорах от ОМП. В этой связи показательно, что в таблице лидером по числу ядер в процессоре серверного класса оказалась компания Marvell, чей процессор ThunderX реализован на ядрах с архитектурой ARM без привлечения многопоточности.

#### **4 Особенности многоядерности и многопоточности в сетевых процессорах**

При всем многообразии архитектур СП, их можно поделить на две категории по специализации процессорных ядер [13]. Специализированные ядра позволяют при прочих равных условиях получить более высокую суммарную производительность СП как за счет большей эффективности отдельного ядра, так и благодаря возможности интеграции в СнК большего их числа. Примерами СП со специализированными ядрами могут служить Tile-Gx72 компании Tiler (ныне Mellanox) с 72 ядрами или nPower компании Cisco с рекордным числом в 188 ядер. Однако в последнее время в СП все шире используют универсальные процессорные ядра [14], в первую очередь ядра ARM [15], в том числе самые высокопроизводительные с 64-разрядным релизом архитектуры ARMv8. Здесь в качестве примера можно привести СП LX2160A компании NXP с 16 ядрами

ARM Cortex-A72 или Oteon TX компании Cavium (ныне Marvell) с 24 ядрами ARM ThunderX.

Сдвиг предпочтений разработчиков СП от специализированных к универсальным процессорным ядрам вполне объясним. Последние предлагают гораздо более развитую экосистему, включающую разнообразные операционные среды и библиотеки, а также удобные апробированные средства разработки. В результате СП с универсальными ядрами существенно проще в проектировании, а их потребителям радикально облегчается создание приложений, что сокращает время вывода новых продуктов на рынок.

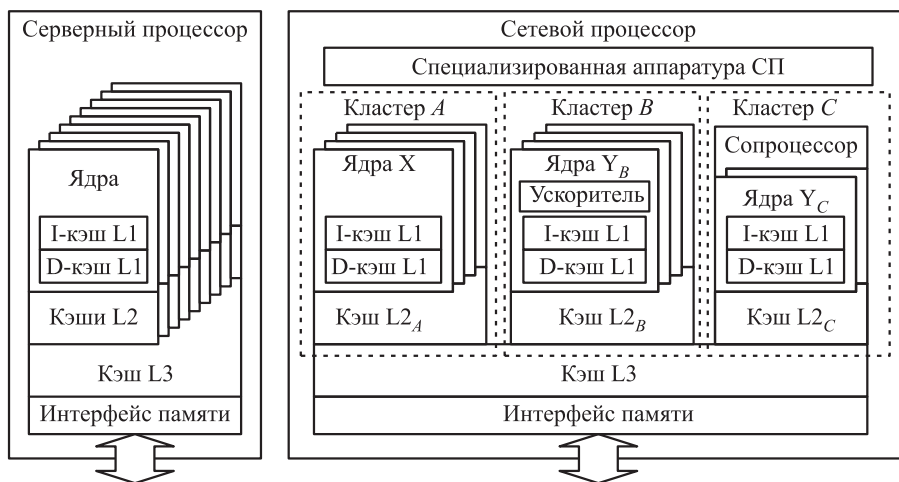
Хотя универсальные процессорные ядра активно внедряются в СП, это не те же самые ядра, которые применяются в серверных процессорах. Так, на сегодняшний день практически нет примеров применения в СП ядер с архитектурой x86. Главное достоинство последней заключается в огромном объеме наработанного серверного программного обеспечения, ряд существенных компонентов которого, таких как виртуализация или программное определение серверов, нерелевантны для СП. В то же время широко применяемые в СП архитектуры ARM и MIPS позволяют разместить на кристалле больше процессорных ядер при более высокой их энергоэффективности.

Также заметно разнятся в процессорах для серверов и СП подходы к организации кэшей. Если в серверных процессорах в целях максимальной независимости ядер от общего интерфейса памяти и приближения функциональности ядра к возможностям отдельного процессора каждое ядро снабжается собственным кэшем второго уровня (L2), для СП более предпочтительной может оказаться кластерная организация ядер с общим кэшем L2 для всех ядер кластера [15]. Разницу в организации кэшей иллюстрирует рисунок.

Отдельно надо отметить роль гетерогенных кластеров в структуре процессоров. По некоторым оценкам, на уровне рабочего конвейера максимальную отдачу аппаратно дает, будучи гетерогенно кластеризована в соответствии с требованиями приложения [16]. Правда, остается непонятным, как можно заранее угадать требования приложений при создании процессора для серверов, на которых могут исполняться самые разнообразные приложения в разных операционных средах. Другое дело СП, где круг приложений ограничен, а их характеристики действительно заранее известны. Более того, в СП гетерогенные функционально специализированные кластеры процессорных ядер желательны и на архитектурном уровне [14], так как кластеризация ядер позволяет наиболее эффективно использовать кэши L2 и специализированное оборудование СП. В примере на рисунке три кластера СП реализованы на процессорных ядрах двух типов, имеют кэши разных объемов и включают разное число ядер с различающейся дополнительной специализированной аппаратурой в кластерах. Таким образом, именно в СП гетерогенная кластеризация способна наиболее полно проявить свои преимущества.

Сетевые процессоры не предъявляют каких-либо специфических требований к многопоточности процессорных ядер. Однако на практике ОМП в СП может





Различия в организации кэшей в серверных и сетевых процессорах

оказаться просто излишней и обернуться некупаемыми аппаратными затратами по двум причинам. Во-первых, типичные применения СП предполагают работу в жестком реальном времени с использованием соответствующих операционных сред. Между тем операционные системы реального времени традиционно рассчитаны скорее на многозадачность, а не многопоточность. Во-вторых, для СП характерен фиксированный комплект рабочих кодов, как правило относительно небольшого объема, целиком помещающийся в кэшах L2 кластеров, либо хранящийся в локальной памяти (*tightly-coupled memory*) процессорных ядер. Поэтому в типичном СП, особенно кластерно организованном, выполнение отдельного потока программы не тормозится обращениями к внешней памяти и многопоточность как таковая просто теряет смысл, лишившись своего главного преимущества. Эта особенность СП служит весомым аргументом в пользу использования в них процессорных ядер архитектуры ARM с ее агрессивной многоядерностью при концептуальном отказе от многопоточности.

## 5 Заключение

Растущие требования к производительности процессоров заставляют их разработчиков применять всевозможные методы повышения быстродействия, в том числе распараллеливание вычислений в вариантах многопоточности и многоядерности. Хотя производители процессоров иногда рекламируют многопоточность своих изделий как альтернативу многоядерности, поток не эквивалентен процессорному ядру и тем более процессору, а многопоточность не заменяет



многоядерность. Вследствие отсутствия универсальных оценок эффективности многопоточности, да и самой уверенности в ее абсолютной эффективности, при выборе технических решений своих процессорных ядер разработчики разных фирм руководствуются интуицией и внутрифирменными оценками и традициями. В результате на рынке представлены процессорные ядра с разным числом потоков, есть и примеры принципиального игнорирования многопоточности.

Если многопоточность не замена многоядерности, то многоядерность во многих случаях может успешно заменить многопоточность. Она более универсальна, поскольку применима для распараллеливания и потоков одной задачи, и целиком задач. Более того, даже при распараллеливании потоков она может оказаться более выгодной, в частности по энергопотреблению.

Особенно успешно многоядерность, в том числе и как альтернатива многопоточности, применима в СП. Особенности организации интегрированных в СП процессоров и специфика работающего на них программного обеспечения объективно ограничивают многопоточность в возможностях продемонстрировать свои лучшие свойства. В то же время они позволяют в полной мере проявиться преимуществам многоядерности. Неслучайно все более широкое применение в интегрированных процессорах СП находит архитектура ARM, которую отличает в числе прочих особенностей отказ от многопоточности в пользу многоядерности.

## Литература

1. Eggers S. J., Emer J. S., Levy H. M., Lo J. L., Stamm R. L., Tullsen D. M. Simultaneous multithreading: A platform for next-generation processors // IEEE Micro, 1997. Vol. 17. Iss. 5. P. 12–19. [https://dada.cs.washington.edu/smt/papers/ieee\\_micro.pdf](https://dada.cs.washington.edu/smt/papers/ieee_micro.pdf).
2. Речистов Г. Процессоры, ядра и потоки. Топология систем // Habr, 2014. <https://habr.com/ru/company/intel/blog/243385>.
3. QorIQ T4240/T4160/T4080 Multicore Communications Processors // NXP. <https://www.nxp.com/products/processors-and-microcontrollers/power-architecture-processors/qoriq-platforms/t-series/qoriq-t4240-t4160-t4080-multicore-communications-processors:T4240>.
4. Why is my multi threading not efficient? // Stackoverflow, 2011. <https://stackoverflow.com/questions/4888538/why-is-my-multi-threading-not-efficient>.
5. Кадомский А. А., Захаров В. А. Эффективность многопоточных приложений // Научный журнал, 2016. № 7(8). С. 26–28. <http://scientificmagazine.ru/images/PDF/2016/7/effektivnost-mnogopotochnykh-prilozhenij.pdf>
6. Егоров В. Б. Некоторые неявные вопросы сетевой виртуализации // Системы и средства информатики, 2017. Т. 27. № 3. С. 88–98.
7. Егоров В. Б. Практичное определение «программно определяемого» // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 2. С. 85–94.
8. Егоров В. Б. Накладные расходы виртуализации и влияющие на них факторы // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 3. С. 141–152.
9. Carbone J. A. Effective use of RTOS programming concepts to support advanced multithreaded architectures // Embedded, 2006. <https://www>.

- embedded.com/design/mcus-processors-and-socs/4006701/Effective-use-of-RTOS-programming-concepts-to-support-advanced-multithreaded-architectures.
10. *Tran D.* Dealing with the disadvantages of multithreading // DZone, 2018. <https://dzone.com/articles/deal-with-disadvantagesnbspof-multithreading>.
  11. *Ruan Y., Nahum E., Pai V., Tracey J.* On the effectiveness of simultaneous multithreading on network server workloads // Semantic Scholar, 2007. <https://pdfs.semanticscholar.org/59f0/3402b4204834bde374466adaef2d3f90f012.pdf>.
  12. *Mulligan C.* ARM is no fan of HyperThreading // The Inquirer, 2006. <https://www.theinquirer.net/inquirer/news/1037948/arm-fan-hyperthreading>.
  13. *Егоров В. Б.* Подходы к архитектуре интегрированных многоядерных сетевых процессоров. — М.: ИПИ РАН, 2012. 108 с.
  14. *Егоров В. Б.* Современные тенденции в развитии архитектур интегрированных сетевых процессоров // Системы и средства информатики, 2014. Т. 24. № 3. С. 78–90.
  15. *Егоров В.* Тенденция к ARMированию многоядерных интегрированных сетевых процессоров // Электронные компоненты, 2018. № 6. С. 40–44.
  16. *Acosta C., Falcón A., Ramirez A., Valero M.* A complexity-effective simultaneous multithreading architecture // Conference (International) on Parallel Processing Proceedings. — IEEE Computer Society, 2005. P. 157–164. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/112312/01488611.pdf>.

Поступила в редакцию 23.09.19

---

## MULTICORE AND MULTITHREADING PECULIARITIES IN NETWORK PROCESSORS

*V. B. Egorov*

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:** General-purpose high-performance processors exploit combinations of diverse approaches to the computation parallelism, multicoring and multithreading included. Due to objective difficulties for quantitative estimations of multicoring and multithreading efficiency, as well as their interdependency in modern server processors, various developing companies choose differing structural solutions based on some proprietary evaluations or followed company traditions. Meanwhile, regarding network processors specifically, thorough consideration of their organization peculiarities and examination of their typical software features may induce the developers to a qualitative conclusion on preference of multicoring against multithreading, which would stimulate them to use in the network processor design the ARM architecture with its predilection for aggressive multicoring and conceptual disregard for multithreading.

**Keywords:** ARM; computation parallelism; multicore; multithreading; network processor; processor architecture

**DOI:** 10.14357/08696527200107

## References

1. Eggers, S. J., J. S. Emer, H. M. Levy, J. L. Lo, R. L. Stamm, and D. M. Tullsen. 1997. Simultaneous multithreading: A platform for next-generation processors. *IEEE Micro* 17(5):12-19. Available at: [https://dada.cs.washington.edu/smt/papers/ieee\\_micro.pdf](https://dada.cs.washington.edu/smt/papers/ieee_micro.pdf) (accessed February 21, 2020).
2. Rechistov, G. 2014. Protsessory, yadra i potoki. Topologiya sistem. [Processors, cores, and threads. System topology]. Habr. Available at: <https://habr.com/ru/company/intel/blog/243385/> (accessed February 21, 2020).
3. QorIQ T4240/T4160/T4080 Multicore Communications Processors. NXP. Available at: <https://www.nxp.com/products/processors-and-microcontrollers/power-architecture-processors/qoriq-platforms/t-series/qoriq-t4240-t4160-t4080-multicore-communications-processors:T4240> (accessed February 21, 2020).
4. Stackoverflow. 2011. Why is my multi threading not efficient? Available at: <https://stackoverflow.com/questions/4888538/why-is-my-multi-threading-not-efficient> (accessed February 21, 2020).
5. Kadomskiy, A. A., and V. A. Zakharov. 2016. Effektivnost' mnogopotochnykh prilozheniy [Multithreaded applications effectiveness]. *Nauchnyy zh.* [Science Magazine]. 7(8):26-28. Available at: <http://scientificmagazine.ru/images/PDF/2016/7/effektivnost-mnogopotochnykh-prilozhenij.pdf> (accessed February 21, 2020).
6. Egorov, V. B. 2017. Nekotorye neyavnye voprosy setevoy virtualizatsii [Some implicit issues of network virtualization]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 27(3):88-98.
7. Egorov, V. B. 2019. Praktichnoe opredelenie "programmno opredelyaemogo" [A practical definition of "software-defined"]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(2):85-94.
8. Egorov, V. B. 2018. Nakladnye raskhody virtualizatsii i vliyayushchie na nikh faktory [Virtualization overheads and factors influencing them]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 28(3):141-152.
9. Carbone, J. A. 2006. Effective use of RTOS programming concepts to support advanced multithreaded architectures. Embedded. Available at: <https://www.embedded.com/design/mcus-processors-and-socs/4006701/Effective-use-of-RTOS-programming-concepts-to-support-advanced-multithreaded-architectures> (accessed February 21, 2020).
10. Tran, D. 2018. Dealing with the disadvantages of multithreading. DZone. Available at: <https://dzone.com/articles/deal-with-disadvantagesnbspof-multithreading> (accessed February 21, 2020).
11. Ruan, Y., E. Nahum, V. Pi, and J. Tracey. 2007. On the effectiveness of simultaneous multithreading on network server workloads. Semantic Scholar. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/59f0/3402b4204834bde374466adaef2d3f90f012.pdf> (accessed February 21, 2020).

12. Mulligan, C. 2006. ARM is no fan of HyperThreading. *The Inquirer*. Available at: <https://www.theinquirer.net/inquirer/news/1037948/arm-fan-hyperthreading> (accessed February 21, 2020).
13. Egorov, V. B. 2012. *Podkhody k arkhitekture integriruyemykh mnogoyadernykh setevykh protsessorov* [Approaches to the architecture of integrated multicore network processors]. Moscow: IPI RAN. 108 p.
14. Egorov, V. B. 2014. Sovremennye tendentsii v razvitii arkhitektur integriruyemykh setevykh protsessorov [Modern trends in evolution of integrated network processor architectures]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 24(3):78–90.
15. Egorov, V. 2018. Tendentsiya k ARMirovaniyu mnogoyadernykh integriruyemykh setevykh protsessorov [A trend to ARMing of multicore integrated network processors]. *Elektronnyye komponenty* [Electronic Components] 6:40–44.
16. Acosta, C., A. Falcón, A. Ramirez, and M. Valero. 2005. A complexity-effective simultaneous multithreading architecture. *Conference (International) on Parallel Processing Proceedings*. — IEEE Computer Society. 157–164. Available at: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/112312/01488611.pdf> (accessed February 21, 2020).

*Received September 23, 2019*

## **Contributor**

**Egorov Vladimir B.** (b. 1948) — Candidate of Science (PhD) in technology, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; [VEgorov@ipiran.ru](mailto:VEgorov@ipiran.ru).

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ НА ИНФОРМАЦИОННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ\*

*А. А. Зацаринный<sup>1</sup>, В. И. Королёв<sup>2</sup>, А. И. Гаранин<sup>3</sup>*

**Аннотация:** Рассмотрены отношения между надежностью оборудования ситуационных центров (СЦ) и информационной безопасностью. Ситуационный центр представлен в качестве модели, являющейся распределенной информационно-аналитической системой (ИАС), которая исполнена на платформе цифровой среды и предназначена для поддержки принятия управленческих решений в рамках конкретной организационной системы. Сформулирована постановка задачи оценки отношений «надежность оборудования – безопасность информации». Для постановки задачи использована методология субъектно-объектных отношений безопасности. Исследовано влияние на информационную безопасность отказов и сбоев оборудования СЦ в части обеспечения конфиденциальности, целостности и доступности информации. Проанализированы аспекты политики информационной безопасности при отказах и сбоях аппаратно-программных средств (АПС) СЦ.

**Ключевые слова:** ситуационный центр; информационная безопасность; угроза безопасности; надежность оборудования; цифровая среда; субъектно-объектные отношения безопасности; информационно-аналитические продукты; сбой оборудования; отказ оборудования

**DOI:** 10.14357/08696527200108

### 1 Введение

Цифровая трансформация реализации и обеспечения различных видов деятельности (государственное управление, управление экономикой, взаимодействие органов власти и граждан, управление бизнесом и его реализация и т. д.) кардинальным образом меняет значимость обеспечения безопасности по совокупности процессов деятельности. Цифровая среда, средства реализации информационных технологий (ИТ) становятся субъектами деятельности при реализации технологических процессов; следовательно, фактор обеспечения информационной

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 18-29-03124-мк и 18-29-03081-мк).

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

<sup>2</sup> Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук; Финансовый университет при Правительстве РФ, vkorolev@ipiran.ru

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

безопасности в качестве определяющего критического свойства автоматизированных информационных систем становится одним из важнейших, но, тем не менее, составным показателем более широкого понятия безопасности цифровой среды. Наряду с информационной безопасностью повышается значимость других факторов обеспечения безопасности цифровой среды: надежности оборудования (аппаратной составляющей информационно-телекоммуникационных сетей), программных продуктов, безопасности автоматизированных технологий деятельности, техногенной и физической безопасности объектов цифровой индустрии, качества и полноты нормативно-правовой базы, а также человеческого фактора. Вся эта совокупность факторов во взаимосвязи может быть определена как функциональная безопасность.

Для того чтобы понять, как представлять интеграционный вектор безопасности, необходимо более предметно исследовать соотношения корреляции между этими факторами.

В данной статье предпринята попытка определить отношения между надежностью оборудования СЦ и информационной безопасностью, выбрав для исследования поставленной задачи СЦ в качестве модели, которая представляет собой типичную распределенную ИАС, исполненную на платформе цифровой среды и предназначенную для поддержки принятия управленческих решений в конкретной организационной системе.

## **2 Ситуационный центр как модель для анализа отношения «надежность оборудования — безопасность информации»**

Ситуационный центр имеет достаточно разнообразный ИТ-ландшафт с точки зрения применяемого оборудования, и этим он предметен для использования в качестве модели для решения поставленной задачи. В ИТ-ландшафт СЦ могут быть включены зоны [1]:

- мониторинга и источников информации;
- сбора информации и ведения информационных ресурсов;
- анализа и сценарного синтеза;
- мультимедиапредставления данных и сценариев ситуационного управления;
- принятия решений.

В зоне принятия решений используются автоматизированные рабочие места (мобильные или стационарные). Зона мультимедиапредставления данных и сценариев ситуационного управления оснащена телевизионным и звуковым оборудованием, стационарным оборудованием отображения информационного контента. Зона анализа и сценарного синтеза — это, практически, автоматизированная ИАС со всеми вытекающими из функционала требованиями по оборудованию аппаратной платформы. Системообразующим компонентом зоны сбора информации и ведения информационных ресурсов является база данных

СЦ. Зона мониторинга и источников информации, которая не всегда находится в рамках компетенции СЦ, в части оборудования существенно зависит от вида источников информации, передающей аппаратуры и способов ее представления в СЦ. Для обеспечения информационного взаимодействия и управления все оборудование связано каналами связи телекоммуникационной системы (ТКС).

Конечными продуктами функционирования СЦ являются консолидированные из различных источников информационные и информационно-аналитические продукты (ИАП), предназначенные для принятия решений ЛПР (ЛПР — лица, принимающие решения с использованием СЦ) или для непосредственного ситуационного управления [2]. Естественно, ценность этой информации для ее обладателя или пользователя достаточно велика, даже если она не относится в соответствии с законодательными актами к информации ограниченного доступа, т. е. к обязательно защищаемой информации. В этом случае ценность определяется теми рисками для обладателя информации, которые могут порождаться нарушением информационной безопасности.

Под безопасностью информации в соответствии с [3, 4] будем понимать такое состояние защищенности информации, при котором обеспечиваются ее конфиденциальность, целостность и доступность<sup>1</sup>.

*Конфиденциальность информации* — состояние информации, при котором доступ к ней осуществляют только субъекты, имеющие на него право [3].

Конфиденциальность подразумевает обеспечение доступа к информации только авторизованным пользователям и обеспечивается способностью системы сохранять информацию втайне от тех, кто не имеет полномочий на доступ к ней. Иными словами, авторизованное лицо должно иметь доступ только к той информации, которая ему необходима для исполнения своих служебных обязанностей.

*Целостность информации* — состояние информации, при котором отсутствует любое ее изменение либо изменение осуществляется только преднамеренно субъектами, имеющими на него право.

Целостность предполагает то, что информация должна быть защищена от намеренного, несанкционированного или случайного изменения по сравнению с исходным состоянием, а также от каких-либо искажений в процессе хранения, передачи или обработки. Помимо преднамеренных действий во многих случаях неавторизованные изменения информации возникают в результате технических сбоев или человеческих ошибок по оплошности или из-за недостаточной профессиональной подготовки.

*Доступность информации* — состояние информации, при котором субъекты, имеющие права доступа, могут реализовать их беспрепятственно, за приемлемое время получить требуемую информационную услугу, т. е. обеспечивается способность своевременного и беспрепятственного доступа к информации.

---

<sup>1</sup>Безопасность информации определяется отсутствием недопустимого риска, связанного с утечкой информации по техническим каналам, с несанкционированными и непреднамеренными воздействиями на данные и(или) на другие ресурсы автоматизированной информационной системы, используемые при применении ИТ.



### 3 Постановка задачи «надежность оборудования – безопасность информации»

Следует выделить три аспекта отношений «оборудование СЦ – безопасность информации» при рассмотрении СЦ как объекта защиты:

- (1) возможность съема информации за счет побочных электромагнитных излучений при ее обработке и передаче вычислительными и телекоммуникационными техническими средствами во всех зонах ИТ-ландшафта СЦ;
- (2) возможность утечки речевой информации за счет образования побочных проводных каналов вспомогательного и основного оборудования СЦ в зоне принятия решений ИТ-ландшафта и в выделенных защищаемых помещениях;
- (3) нарушение работоспособности вычислительных и телекоммуникационных средств при обработке и передаче информации.

Первые два аспекта относятся к *физической природе* функционирования технических средств.

Третий аспект связан с событиями, приводящими к нарушению работоспособности оборудования, как внутреннего характера, так и внешними по отношению к оборудованию событиями (техногенные и природные катастрофы, преднамеренные действия нарушителей и злоумышленников и т. п.) [5].

События внутреннего характера, нарушающие работоспособность оборудования СЦ, относятся к принятому в области технических средств *понятию надежности*, которое определяется качеством технических изделий и устройств (например, плохое качество электрических контактов; отказы комплектующих изделий, вызываемые физико-химическими процессами старения аппаратуры, дефектами технологии ее изготовления и т. д.).

**Цель данной работы** — определить отношения между факторами надежности оборудования СЦ и информационной безопасности при использовании этого оборудования. При этом важным определяющим положением достижения этой цели является определение вектора взаимного влияния этих факторов на конечный результат функционирования СЦ.

Цель определяет задачу рассмотрения соотношения «надежность оборудования – безопасность информации». Фрагментами решения этой задачи являются, во-первых, определение вектора влияния надежности оборудования на информационную безопасность, во-вторых, анализ влияния отказов и сбоев АПС СЦ на безопасность информации и, в-третьих, выводы по результатам анализа.

**Вектор влияния** формируется на основании следующей последовательности логических модулей вербального характера.

*Формирование конечного продукта ситуационного центра.* Ситуационный центр служит фактически инструментальным компонентом системы управления определенным видом деятельности, являющимся профилем организации/предприятия. Его конечными продуктами в системе управления являются консолиди-



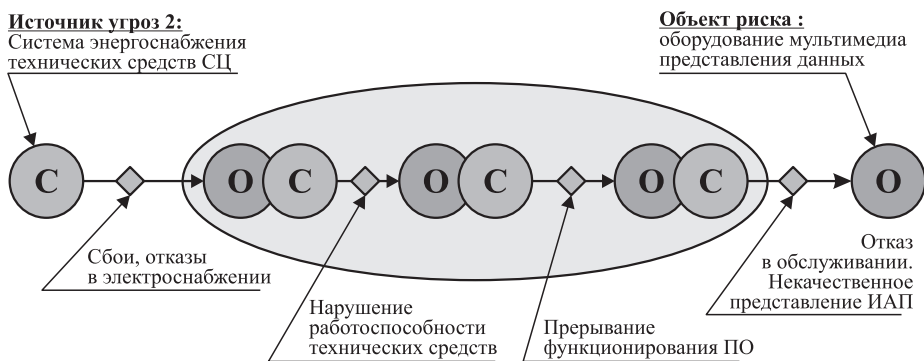
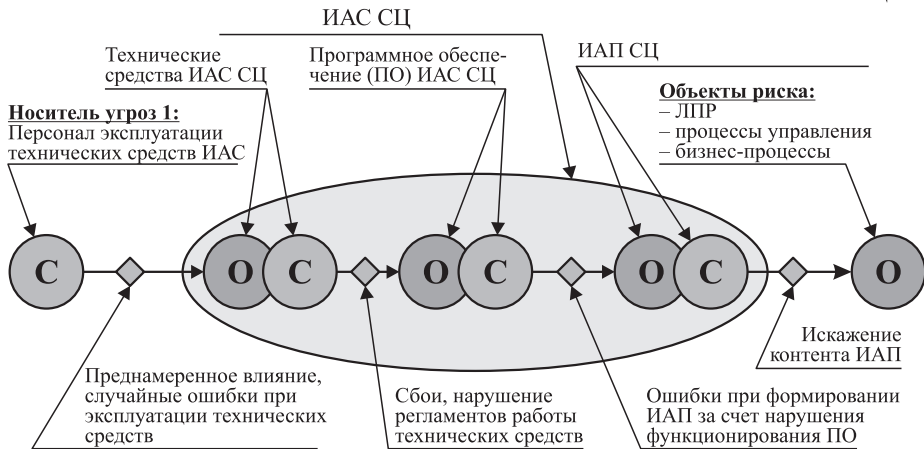
рованные из различных источников информационные и информационно-аналитические продукты. Именно они могут стать для организации непосредственным источником угроз, исходящих из информационной сферы и порождающих риски в области целевой деятельности (риски предпринимательские, финансовые, банковские и т. д.). Информационные и информационно-аналитические продукты являются результатом технологических процессов обработки информации, которые реализуются программно-техническим комплексом СЦ. Кроме того, программно-технический комплекс СЦ обеспечивает транспорт информации в ТКС при информационном взаимодействии, а также представление / отображение информационных продуктов в зоне мультимедиапредставления данных и сценариев ситуационного управления ИТ-ландшафта СЦ.

*Формирование сценария субъектно-объектных отношений безопасности.* Деструктивная активность направлена от субъекта инициации этой активности (С) на объекты безопасности (О). Модель субъектно-объектных отношений безопасности позволяет построить траекторию формирования влияния (атаки) от источника угроз до конечного объекта атаки. Между субъектами угроз безопасности и объектами безопасности возникают субъектно-объектные отношения в виде угроз безопасности. Субъектно-объектные отношения связаны со сценарием прогнозируемого развития ситуации, который формируется, исходя из характеристик и свойств субъекта угроз безопасности и объекта безопасности.

*Анализ сценария.* Анализ сценария развития ситуации обеспечивает формирование характеристик, связанных с угрозами безопасности, позволяет оценить вероятность перехода угрозы безопасности в реальное событие и значимость последствий этого события (вред, ущерб) в отношении объекта безопасности. При этом ситуация может быть сложной, связанной с возникновением вторичной угрозы безопасности, когда роль объекта безопасности после реализации определенных угроз может переходить в роль субъекта угроз безопасности. Конечным продуктом анализа сценария развития ситуации является именованная классифицированная угроза безопасности и принятие решения о включении ее в Модель угроз [6]. В данном случае рассматривается нарушение работоспособности вычислительных и телекоммуникационных средств при обработке и передаче информации в СЦ (третий аспект отношений «оборудование СЦ – безопасность информации»). Тогда первичными субъектами угроз являются обслуживающий персонал технических средств информационно-вычислительного комплекса (ИВК) и ТКС СЦ, сами технические средства ИВК, техническое и инженерное оборудование, обеспечивающее функционирование ИВК и ТКС. Общая идея схем построения подобных сценариев представлена как пример на рисунке.

*Вектор влияния «надежность оборудования – безопасность информации».* Содержание и анализ сценариев позволяют интерпретировать понятие вектора влияния «надежность оборудования – безопасность информации» для СЦ. Обобщенным вектором влияния «надежность оборудования – безопасность информации» является совокупность выявленных классифицированных угроз ИАП СЦ

СИТУАЦИЯ I



СИТУАЦИЯ II

- ◆ — Угрозы
- С — Субъекты влияния
- О — Объекты риска

Примеры анализа сценариев развития ситуаций субъектно-объектных отношений безопасности

как конечного информационного объекта, связанных с работоспособностью технических средств (оборудования) ИВК и ТКС СЦ в реальных условиях функционирования СЦ во всех зонах ИТ-ландшафта СЦ.

Учитывая поставленную задачу рассмотрения — определение отношений между надежностью оборудования СЦ и информационной безопасностью при использовании этого оборудования, источниками нарушений в данном случае

следует считать факторы нарушения работоспособности оборудования, определяемые принятыми в области его производства и эксплуатации понятиями *отказов и технических сбоев*.

Под отказами и техническими сбоями, согласно ГОСТ 27.002-89 [5], понимаются следующие события:

**отказ** — событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Если работоспособность объекта характеризуют совокупностью значений некоторых технических параметров, то признаком возникновения отказа является выход значения любого из этих параметров за пределы допусков. Кроме того, в критерии отказов могут входить качественные признаки, указывающие на нарушение нормальной работы объекта;

**сбой** — самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора. Отличительным признаком сбоя является то, что восстановление работоспособного состояния объекта может быть обеспечено без ремонта, например путем воздействия оператора на органы управления, устранением обрыва нити, магнитной ленты и т. п. Характерным примером сбоя служит остановка электронно-вычислительной машины, устраняемая повторным пуском программы с места останова или ее перезапуском сначала.

#### 4 Влияние отказов и сбоев аппаратно-программных средств ситуационного центра на безопасность информации

Рассмотрим общие принципы влияния отказов и сбоев АПС СЦ на безопасность информации (на обеспечение ее конфиденциальности, целостности и доступности).

**Конфиденциальность.** При возникновении сбоев и отказов АПС несанкционированный доступ к информации возможен, прежде всего, в случаях привлечения к восстановлению их работоспособности (ремонту) лиц, не имеющих соответствующих прав доступа к обрабатываемой или хранящейся в АПС информации. На случаи восстановления и ремонта АПС должны действовать нормативно регулирующие технологические инструкции по проведению работ. Особо следует выделить случаи, когда АПС отправляются для ремонта в специализированные сервисные центры.

Для предотвращения в процессе восстановления и ремонта несанкционированного доступа к хранящейся и обрабатываемой информации должны применяться следующие основные организационно-административные меры:

- специалисты из обслуживающего персонала, привлекаемые к проведению ремонтно-восстановительных работ, должны иметь форму допуска в соответствии с категорией эксплуатируемого объекта;

- ремонтно-восстановительные работы должны проводиться при гарантированном удалении из изделий или компонентов АПС информации ограниченного доступа или, в случае невозможности выполнения процедур удаления, в присутствии и под наблюдением авторизованных пользователей с соответствующими полномочиями (в основном администраторов безопасности или администраторов по приложениям ответственности за функционирование ИВК и ТКС);
- перед отправкой АПС для ремонта в специализированные сервисные центры с них следует снять средства хранения информации или обеспечить гарантированное уничтожение установленным порядком информации ограниченного доступа;
- выявленные в процессе ремонта неисправные средства хранения информации, не подлежащие восстановлению, следует уничтожать установленным порядком, определяемым соответствующим нормативно-регулирующим документом.

**Целостность.** Нарушение целостности информации при возникновении сбоев и отказов АПС возможно в процессе ее хранения, передачи или обработки.

*Хранение информации.* Выход из строя средств хранения может привести к потере или искажению хранящейся на них информации. Для предотвращения таких последствий необходимо выполнять ряд требований.

Во-первых, размещать хранящуюся критически важную информацию на нескольких средствах хранения (основное и резервные).

Рассмотрим, как при этом изменятся результирующие показатели надежности. Полагая, что  $T_o \gg T_b$ , основное и резервные средства хранения одинаковы и отказы средств хранения независимы между собой, получим, что результирующая надежность схемы, состоящей из одного основного и одного или нескольких резервных средств хранения информации, может быть определена с использованием следующих выражений [7]:

- для вероятности безотказной работы такой схемы:

$$P_p(t) = 1 - Q_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n q_i(t);$$

- для среднего времени наработки на отказ (безотказной работы) такой схемы:

$$T_{op} = \frac{1}{\lambda} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} = T_o \left( 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} \right),$$

где  $T_o$  — среднее время наработки на отказ отдельного (основного либо резервного) средства хранения;  $T_b$  — среднее время восстановления средства

хранения;  $Q_p(t)$  — результирующая вероятность отказа схемы, состоящей из основного и резервных средств хранения;  $q_i(t)$  — вероятность отказа отдельных ( $i$ -х) средств хранения;  $\lambda = 1/T_o$  — интенсивность отказов отдельного средства хранения;  $n$  — общее число основных и резервных средств хранения.

Таким образом, резервирование средств хранения информации позволяет увеличить среднее время и вероятность безотказной работы системы хранения информации, что обеспечивает существенное снижение вероятности потери или искажения хранящейся информации.

Во-вторых, проводить резервное копирование хранящейся информации на внешних носителях.

В-третьих, при проведении регламентных работ проводить диагностику состояния средств хранения информации (состояние дорожек, длительность реагирования на запросы и т. п.) с целью прогнозирования состояния и принятия мер по уменьшению вероятности их выхода из строя в межрегламентный период.

*Обработка информации.* Выход из строя средств обработки информации может привести к потере или искажению хранящейся на них информации. В первую очередь это касается случаев, когда в процессе обработки проводится изменение исходной информации авторизованными пользователями. При отказе АПС все изменения, которые были внесены в исходный файл, могут быть потеряны. Это приведет к необходимости вновь вносить необходимые изменения в исходный файл. Для недопущения или снижения ущерба в таких ситуациях необходимо чаще проводить сохранение обрабатываемого файла.

Кроме того, при проведении ремонта АПС обработки информации в целях предотвращения нарушения целостности информации следует соблюдать организационно-административные меры, определенные выше для ремонтных работ, с учетом обеспечения конфиденциальности информации.

*Передача информации.* При сбое или выходе из строя средств передачи информации возможна полная либо частичная потеря информации, передаваемой между объектами информационного взаимодействия СЦ.

Для обеспечения целостности передаваемой информации следует сохранять ее в пункте выдачи до получения подтверждения об успешном приеме в пункте приема, с тем чтобы после восстановления вышедших из строя средств передачи информации была возможность ее повторной выдачи.

**Доступность.** При возникновении сбоев и отказов АПС СЦ нарушение возможности за приемлемое время получить требуемую информационную услугу может возникнуть при отказе средств хранения, передачи или обработки информации.

Для обеспечения доступности информации при выходе из строя средств хранения необходимо обеспечить резервирование информации на различных носителях (двух-трехкратное резервирование).

При выходе из строя средств передачи информации в структуре СЦ должны быть предусмотрены обходные пути передачи информации между хранилищем, средствами обработки информации и ее визуализации.

Выход из строя средств обработки информации приводит к невозможности доступа к информации в целом.

## 5 Политика информационной безопасности при сбоях и отказах оборудования ситуационного центра

Политика информационной безопасности при сбоях и отказах оборудования является одним из разделов политики информационной безопасности СЦ. Данный раздел должен отражать причины возможных нарушений и направления обеспечения информационной безопасности. Для характеристики этих вопросов используем в качестве исходных данных полученные выше результаты рассмотрения назначения и содержания вектора влияния «надежность оборудования – информационная безопасность» и общих принципов влияния отказов и сбоев АПС на безопасность обрабатываемой в СЦ информации.

Вектор влияния «надежность оборудования – информационная безопасность», по существу, служит частной моделью угроз безопасности конкретного проектируемого или обследуемого СЦ, в которой представлены угрозы, порождаемые нарушением работоспособности оборудования ИВК и ТКС СЦ, в том числе в результате технических сбоев и отказов.

Общие принципы влияния отказов и сбоев на информационную безопасность дают общесистемную картину соотношения между состоянием надежности оборудования и свойствами информации, характеризующими ее безопасность при обработке в СЦ.

Исходя из этих предпосылок, сформулируем основные направления политики СЦ в части обеспечения информационной безопасности.

**Дисциплина эксплуатации.** На предмет технических сбоев и отказов предотвращение угроз, связанных с нарушением работоспособности оборудования ИВК и ТКС СЦ, — это, во-первых, ориентация на качество технических изделий, определяемое показателями надежности; во-вторых, соблюдение условий их эксплуатации и эксплуатация в соответствии с конструкторской документацией, в том числе своевременное проведение профилактических работ; в-третьих, своевременная замена изделий по истечении установленного срока службы.

**Организационно-административные регламенты выполнения эксплуатационных работ.** Для всех периодов жизненного цикла оборудования ИВК и ТКС СЦ необходимо иметь в политике информационной безопасности четкое отражение последовательности действий при возникновении нештатных ситуаций при работе оборудования, а также ответственных лиц за стабилизацию работы СЦ и его технических компонентов. Организационно-административные регламенты должны включать в себя как соответствующую конструкторскую документацию, так и дополнительно создаваемые технологические регламенты (инструкции) по обработке нештатных ситуаций и восстановительным работам.

**Резервное копирование и восстановление данных.** Любое оборудование (устройство, техническое изделие) является составляющим аппаратным компонентом аппаратно-программного комплекса СЦ, который реализует определенную функцию по обработке, передаче и хранению информации, возможно в условиях реализации критических ИТ. С учетом этого соблюдение требований и регламентов по эксплуатации оборудования не является достаточным в части обеспечения информационной безопасности. На оборудование могут быть направлены внешние атаки как антропологического характера (человеческий фактор), так и техногенного или природного характера. И в этом случае также наступают сбои и отказы оборудования, влияющие на функциональность СЦ как системы. Эти события отражаются на состоянии информационной безопасности в части обеспечения целостности и доступности данных, так как связаны с возможностью потери данных и непрерывностью процесса функционирования.

Основным защищаемым активом в СЦ, безусловно, является информация. В связи с этим в любой информационной системе одним из значимых элементов безопасности является *программный или программно-аппаратный комплекс резервного копирования и восстановления данных*. Помимо защиты от потери данных комплексы резервного копирования позволяют обеспечить непрерывность работы пользователей (обеспечить доступность данных). Сегодняшний уровень этого класса решений позволяет сделать процесс резервного копирования быстрым и удобным.

**Функциональное резервирование.** Наряду с решением проблемы резервирования и восстановления критически важной информации необходимо учитывать, что при сбоях и отказах в работе оборудования ИВК и ТКС СЦ возможна не только потеря важной информации, но и выход из строя компонентов оборудования в ходе реализации того или иного критического процесса, прерывание которого приводит к нарушению целостности или доступности информации.

В качестве примера такого критического компонента в СЦ может выступать почтовый сервер, который обеспечивает информационное взаимодействие с источниками информации в зоне сбора информации и ведения информационных ресурсов ИТ-ландшафта СЦ. Выход из строя блока питания или сетевой карточки сделают сервер фактически неработоспособным, поэтому важно иметь резерв серверных компонентов на случай внезапного отказа уже используемого. Время на поиск и приобретение нового оборудования (или отдельных компонентов) для замены вышедшего из строя несоизмеримо больше, чем время на его оперативную замену из имеющегося резерва. Но при этом не исключается и возможность системного решения функционального резервирования почтового сервера в целом.

Политика функционального резервирования является отдельной ответственной задачей, так как результат ее решения влияет на ряд важных системных характеристик, связанных с функциональностью и безопасностью СЦ, а также с экономической обоснованностью проектных решений системы.



## **6 Заключение**

Анализ проблемы отношения «надежность оборудования – безопасность информации» показал, что, во-первых, влияние надежности оборудования на безопасность информации является одним из определяющих для обеспечения безопасности СЦ, во-вторых, надежность оборудования связана как с событиями внутреннего характера по отношению к оборудованию, так и с внешними угрозами.

В отношении событий внутреннего характера сформулирован ряд принципиальных выводов организационно-технологической направленности:

1. Поддержание заданных показателей надежности в ходе эксплуатации оборудования АПС СЦ в рамках проведения регламентных и восстановительных работ должно обеспечиваться авторизованными специалистами из эксплуатирующих подразделений СЦ в соответствии с нормативно-техническими документами, определяющими политику информационной безопасности СЦ как объекта защиты.
2. При проведении ремонтных работ на оборудовании СЦ сторонними сервисными организациями необходимо определять дополнительные организационно-административные меры для обеспечения конфиденциальности и целостности той информации, которая обрабатывалась оборудованием, подлежащим ремонту.
3. Основными техническими решениями обеспечения безопасности информации при работе АПС СЦ являются архитектурные решения резервирования компонентов АПС обработки и телекоммуникационных средств оборудования СЦ.
4. Для обеспечения доступности информации при выходе из строя средств хранения необходимо обеспечить резервирование информации на различных носителях.

Политика информационной безопасности при сбоях и отказах оборудования СЦ разрабатывается на основе частной модели угроз, которая создается путем анализа сценариев развития ситуаций субъектно-объектных отношений безопасности и построения вектора влияния «надежность оборудования – безопасность информации», включает в себя основные разделы: дисциплина эксплуатации оборудования ИВК и ТКС СЦ, организационно-административные регламенты выполнения эксплуатационных работ, резервное копирование и восстановление данных, функциональное резервирование.

## **Литература**

1. *Зацаринный А. А., Королёв В. И.* Особенности подготовки информационно-аналитического продукта средствами сегментированного ситуационного центра // Системы и средства информатики, 2017. Т. 27. № 4. С. 122–131.



2. *Зацаринный А. А., Королёв В. И.* Сегментирование информационно-технологической инфраструктуры ситуационного центра по признаку контуров безопасности // Системы и средства информатики, 2016. Т. 26. № 3. С. 136–147.
3. Р 50.1.056-2005. Техническая защита информации. Основные термины и определения. Рекомендации по стандартизации. — М.: Стандартинформ, 2006. 20 с.
4. ГОСТ Р 50922-2006. Защита информации. Основные термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2008. 17 с.
5. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 2002. 24 с.
6. *Королёв В. И., Новиков А. А., Кузьмин А. П., Шориков А. Н.* Методология построения модели угроз безопасности территориально распределенных объектов // Технологии технической безопасности, 2013. № 2(48). Ст. № 16. 12 с.
7. *Зацаринный А. А., Гаранин А. И., Козлов С. В.* Научно-практические аспекты обеспечения надежности информационно-телекоммуникационных сетей. — М.: ФИЦ ИУ РАН, 2017. 248 с.

*Поступила в редакцию 21.01.20*

---

---

## ANALYSIS OF THE IMPACT OF RELIABILITY INDICATORS EQUIPMENT OF SITUATION CENTERS ON INFORMATION SECURITY

*A. A. Zatsarinny<sup>1,2</sup>, V. I. Korolev<sup>2,3</sup>, and A. I. Garanin<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

<sup>2</sup>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

<sup>3</sup>Financial University under the Government of the Russian Federation, 49 Leningrad Prosp., Moscow 125993, Russian Federation

**Abstract:** The article deals with the relationship between the reliability of equipment of situation centers and information security. The situation center is modeled as a distributed information and analytical system, which is executed on the platform of the digital environment and is designed to support management decision-making within a specific organizational system. The problem of the evaluation of the relationship “equipment reliability–information security” is formulated. The methodology of subject–object relations of security is used to tackle the problem. The influence of failures and malfunctioning of equipment of situation centers on information security in terms of confidentiality, integrity, and availability of information is analyzed.

**Keywords:** situation center; information security; security threat; equipment reliability; digital environment; subject–object security relations; information and analytical products; equipment failure

**DOI:** 10.14357/08696527200108

## Acknowledgments

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects 18-29-03124 and 18-29-03081).

## References

1. Zatsarinny, A. A., and V. I. Korolev. 2017. Osobennosti podgotovki informatsionno-analiticheskogo produkta sredstvami segmentirovannogo situatsionnogo tsentra [Technological service preparation of information and analytical products by means of a segmented situational center]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 27(4):122–131.
2. Zatsarinny, A. A., and V. I. Korolev. 2016. Segmentirovanie informatsionno-tekhnologicheskoy infrastruktury situatsionnogo tsentra po priznaku konturov bezopasnosti [Segmentation of information-technology infrastructure of situational center by the loop security attribute]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 26(3):136–147.
3. R 50.1.056-2005. 2006. Tekhnicheskaya zashchita informatsii. Osnovnye terminy i opredeleniya. Rekomendatsii po standartizatsii [Technical information protection. Key terms and definitions. Standardization guidelines]. Moscow: Standardinform Pubs. 20 p.
4. GOST R 50922-2006. 2008. Zashchita informatsii. Osnovnye terminy i opredeleniya [Information security. Key terms and definitions]. Moscow: Standardinform Pubs. 17 p.
5. GOST 27.002-89. 2002. Nadezhnost' v tekhnike. Osnovnye ponyatiya, terminy i opredeleniya [Reliability in technology. Basic concepts, terms and definitions]. Moscow: Standards Pubs. 24 p.
6. Korolev, V. I., A. A. Novikov, A. P. Kuz'min, and A. N. Shorikov. 2013. Metodologiya postroeniya modeli ugroz bezopasnosti territorial'no raspredelennykh ob"ektov [Methodology for constructing the model of security threats of territorially distributed object]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti* [Technology of Technosphere Safety] 2(48):16. 12 p.
7. Zatsarinny, A. A., A. I. Garanin, and S. V. Kozlov. 2017. Nauchno-prakticheskie aspekty obespecheniya nadezhnosti informatsionno-telekommunikatsionnykh setey [Scientific and practical aspects of ensuring the reliability of information and telecommunication networks]. Moscow: FRC CSC RAS. 248 p.

Received January 21, 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

**Korolev Vadim I.** (b. 1943) — Doctor of Science in technology, professor, 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; professor, Financial University under the Government of the Russian Federation, 49 Leningradskiy Prosp., Moscow 125993, Russian Federation; VKorolev@ipiran.ru

**Garanin Alexander I.** (b. 1951)—Candidate of Science (PhD) in technology, 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; Al-garanin@mail.ru

## ОПИСАНИЕ ДИНАМИКИ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОЙ БУХГАЛТЕРСКОЙ КНИГИ\*

*А. А. Грушо<sup>1</sup>, А. А. Зацаринный<sup>2</sup>, Е. Е. Тимонина<sup>3</sup>*

**Аннотация:** Рассматривается построенная ранее модель электронной бухгалтерской книги (ЭБК) для описания цифровой экономики (ЦЭ) на региональном уровне. В основу модели положен тангл (tangle), который представляет собой модернизированную версию блокчейна. Защищенность ЭБК основана на использовании ситуационных центров (СЦ) с расширением их функций. При этом предложено строить ЭБК на основе централизованного консенсуса. Показано, как с помощью танглов, связанных с отдельными субъектами экономической деятельности, можно контролировать выполнение проектов, в том числе с использованием государственных инвестиций. Построенная формализация контроля позволяет автоматизировать решение этих задач для больших проектов.

**Ключевые слова:** информационная безопасность; тангл; алгебра танглов; защищенная инфраструктура цифровой экономики

**DOI:** 10.14357/08696527200109

### 1 Введение

В работах [1, 2] построена модель ЭБК для описания ЦЭ на региональном уровне. В основу модели положен тангл, который представляет собой модернизированную версию блокчейна [3]. Кратко структура тангла описана в [4].

Тангл — это DAG (Directed Acyclic Graph), в котором вершины представляют транзакции, а дуги — одобрения некоторых предыдущих транзакций. При введении новой транзакции она добавляется в DAG как новая вершина. Из новой вершины выходят две дуги к двум предыдущим транзакциям, которые, как говорят, она одобряет. Одобрение транзакции означает, что ее история была проверена и признана правильной.

Первая транзакция в тангле называется генезисом. Все транзакции в тангле прямо или косвенно одобряют генезис.

---

\* Работа частично поддержана РФФИ (проект 18-29-03124-мк).

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

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

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

Как только транзакция одобрена большим числом новых транзакций, ее практически невозможно изменить.

В блокчейне можно быть уверенным, что транзакция подтверждена после ее утверждения несколькими блоками. Аналогично в тангле определяется кумулятивный вес, который соответствует сумме одобрений определенной транзакции [4].

В качестве инфраструктуры ЭБК предложено использовать СЦ с расширением их функций. Используя защищенную инфраструктуру СЦ, предложено строить ЭБК на основе централизованного консенсуса [5, 6].

Идея ЭБК состоит в том, что каждый субъект экономической деятельности обладает танглом, хранящимся у него и в СЦ. В этом тангле фиксируются все договорные обязательства и результаты их выполнения. Основная идея бухгалтерской книги [7] состоит в двойной записи, которая отражена в главной бухгалтерской книге. В ЭБК каждая транзакция должна найти отражение по крайней мере в двух танглах, которые принадлежат взаимодействующим участникам экономической деятельности.

Настоящая статья посвящена решению ряда задач контроля правильности работы распределенной ЭБК на базе танглов. Для реализации такого контроля построена простейшая алгебра операций над танглами.

## 2 Алгебра танглов

Каждый тангл описывается DAG с двумя дугами, выходящими из каждой вершины. Однако последнее условие требуется только для присоединения новой вершины. Для операции над созданным танглом это требование будет пока считаться необязательным.

Важными операциями контроля правильности хранения танглов являются операции *укрупнения* и *иерархической декомпозиции*.

Пусть  $G = (V, E)$  — это DAG на вершинах  $V$  с дугами  $E$ . Введем операцию укрупнения вершин  $G$ . Пусть  $U \subset V$ . По графу  $G$  построим укрупненный граф  $G'$  с множеством вершин  $V' = (V \setminus U) \cup \{u\}$ , где  $u$  — новая вершина. Все дуги, связанные с вершиной  $u$ , определяются дугами, связывающими множество вершин  $V \setminus U$  с множеством вершин  $U$ , т. е. если  $x \in U$  и существует дуга  $(x, y)$  из вершины  $x$  в вершину  $y$ , принадлежащую  $V \setminus U$ , то в графе  $G'$  существует дуга  $(u, y)$ . И наоборот: если  $x \in V \setminus U$  и  $y \in U$ , то наличие дуги  $(x, y)$  в графе  $G$  влечет за собой наличие дуги  $(x, u)$  в графе  $G'$ .

**Лемма 1.** *Граф  $G'$  является DAG, если в  $G$  нет ориентированного пути из множества  $U$  в множество  $U$  через множество  $V \setminus U$ .*

*Доказательство.* Предположим противное: в графе  $G'$  существует ориентированный цикл. Если все вершины этого цикла принадлежат множеству  $V \setminus U$ , то это противоречит условию, что граф  $G$  является DAG. Если в ориентированном цикле есть вершина  $u$ , то существует ориентированный путь из  $u$  в  $u$ . Это означает, что в графе  $G$  существует ориентированный путь из множества  $U$

в множество  $U$  через множество  $V \setminus U$ , что противоречит предположению. Лемма доказана.

**Определение 1.** Разрез в графе  $G$  делит все вершины множества  $V$  на непересекающиеся множества  $V_1$  и  $V_2$ , причем все дуги, соединяющие  $V_1$  и  $V_2$ , направлены либо от  $V_1$  к  $V_2$ , либо, наоборот, от  $V_2$  к  $V_1$ .

**Следствие леммы 1.** Если в графе  $G$  определен разрез  $V_1, V_2$ , то укрупнение за счет любого из множеств  $V_1$  или  $V_2$  порождает граф  $G'$ , являющийся DAG.

*Доказательство.* В графе  $G$  нет пути, выходящего и входящего в укрупняющее множество и проходящего через второе множество разреза.

**Определение 2.** Операция *детализации* графа  $G$ , являющегося DAG, определяется следующим образом. Пусть  $u$  — вершина в графе  $G$ , граф  $F = (Y, M)$  является DAG и множества вершин графов  $G$  и  $F$  не пересекаются. Тогда  $u$  заменяется на граф  $F$  так, что в полученном графе  $G'$ , если в графе  $G$  есть дуга  $(x, u)$ , существует вершина  $y \in Y$ , такая что в  $G'$  есть дуга  $(x, y)$ . Если в графе  $G$  есть дуга  $(u, x)$ , то существует вершина  $y \in Y$ , такая что в графе  $G'$  есть дуга  $(y, x)$ .

**Лемма 2.** Если графы  $G$  и  $F$  являются DAG, то полученный в результате детализации граф  $G'$  является DAG.

*Доказательство.* Предположим противное, т. е. что в графе  $G'$  есть ориентированный цикл. Этот ориентированный цикл не может быть внутри графа  $G$  или графа  $F$ , так как эти графы являются DAG. Тогда цикл содержит хотя бы одну вершину в графе  $G$  или хотя бы одну вершину в графе  $F$ . Это означает, что в графе  $G$  есть ориентированный путь длины  $k$ ,  $k \geq 1$ , начинающийся и заканчивающийся в вершине  $u$ , которая в графе  $G'$  заменена на граф  $F$ . Следовательно, в графе  $G$  есть ориентированный цикл, что противоречит условию DAG. Лемма 2 доказана.

Рассмотрим операцию *выделения частичного тангла* из тангла  $T = (V, E)$ . Если операция укрупнения с множеством  $U \subset V$  возможна, то можно выделить DAG  $F = (U, E')$ , где  $E'$  — это те дуги графа  $G$ , которые соединяют вершины из множества  $U$  в графе  $G$ . Граф  $F$  является DAG, так как если в нем есть ориентированный цикл, то этот цикл есть в графе  $G$ . Граф  $F$  может не являться танглом, так как в нем у каждой его вершины возможно отсутствие двух доверенных вершин. Кроме того, в этом графе не выделен генезис и граф  $F$  может не быть связным.

**Определение 3.** *Обобщенным танглом* называется произвольный граф, являющийся DAG.

**Определение 4.** *Частичным танглом* тангла  $T$  называется обобщенный тангл, выделяемый в исходном тангле  $T$  при операции укрупнения.

**Определение 5.** *Объединением* обобщенных танглов  $T_1 = (U_1, E_1)$  и  $T_2 = (U_2, E_2)$  называется обобщенный тангл, полученный объединением графов  $T_1$  и  $T_2$  при условии, что  $U_1 \cap U_2 = \emptyset$ .

**Определение 6.** *Простым проектом*  $H(T_1, T_2)$  называется объединение обобщенных танглов  $T_1$  и  $T_2$ , где транзакции, связанные в исходных танглах по требованиям ЭБК, соединены неориентированным ребром.

**Определение 7.** *Проектом* на обобщенных танглах  $T_1, \dots, T_k$  называется граф  $H(T_1, \dots, T_k)$ , в котором каждая пара  $T_i, T_j$ ,  $i \neq j$ , образует простой проект.

**Определение 8.** Проект называется *полным*, если в графе  $H(T_1, \dots, T_k)$  нет изолированных вершин.

Полный проект описывает все взаимосвязи, связанные с его реализацией.

### 3 Интерпретация алгебры танглов

Выполнимость любого проекта в обычном понимании этого слова зависит от согласованности работы различных субъектов экономической деятельности. Согласованность определяется двумя параметрами:

- (1) соблюдением времени выполнения своих функций группой субъектов экономической деятельности при реализации проекта;
- (2) выполнением обязательств, связанных с реализацией возложенных на взаимодействующие субъекты экономической деятельности задач.

Модель согласования времени описывается известными методами сетевых графиков [8]. Выполнимость обязательств определяется подписанием документов о принятии этих обязательств и правильности их выполнения, т. е. принятых и оплаченных договоров.

Когда функционал субъектов экономической деятельности достаточно велик и субъектов, выполняющих проект, много, качество выполнения обязательств можно контролировать с помощью модели проекта, определенной выше. В этой модели одни транзакции в танглах фиксируют принятие обязательств, а другие транзакции фиксируют оплату и акты о выполнении этих обязательств. Тогда ошибки в построении графов проектов отражают причины невыполнения проектов.

Ясно, что этот контроль можно делать вручную, анализируя документы по проектам. Однако предложенная модель позволяет автоматизировать контроль выполнения большого числа проектов и в реальном времени отражать места сбоев и нарушений обязательств.

Операция укрупнения позволяет выделять группы деятельности субъектов ЦЭ, объединенные, например, одним источником финансирования, и отображать инвестиционную деятельность в регионе или в отдельных областях. Если число проектов велико, то операция укрупнения позволит отслеживать выполнение всего множества проектов и сбоев в их выполнении.

## 4 Заключение

Работа посвящена развитию идеи распределенной ЭБК, построенной на базе танглов с централизованным консенсусом и использующей инфраструктуру таких доверенных государственных организаций, как СЦ.

Одними из важных задач, стоящих перед государственными органами власти, являются организация и контроль за инвестициями. В работе показано, как с помощью танглов, связанных с отдельными субъектами экономической деятельности, можно контролировать выполнение проектов, в том числе с использованием государственных инвестиций. Построенная формализация контроля позволяет автоматизировать решение этих задач для больших проектов.

В дальнейшем предполагается провести исследования, формализовать и создать алгоритмы автоматизации других задач контроля деятельности субъектов ЦЭ на уровне регионов.

## Литература

1. Грушо А. А., Зацаринный А. А., Тимонина Е. Е. Электронная бухгалтерская книга на базе ситуационных центров для цифровой экономики // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 2. С. 4–11.
2. Грушо А. А., Зацаринный А. А., Тимонина Е. Е. Угрозы электронной бухгалтерской книге, построенной на базе Tangles // Методы и технические средства обеспечения безопасности информации, 2019. № 28. С. 70–71.
3. Porov S. The Tangle. 2018. [https://assets.ctfassets.net/r1dr6vzfxhev/2t4uxvslqk0EUau6g2sw0g/45eae33637ca92f85dd9f4a3a218e1ec/iota1.4\\_3.pdf](https://assets.ctfassets.net/r1dr6vzfxhev/2t4uxvslqk0EUau6g2sw0g/45eae33637ca92f85dd9f4a3a218e1ec/iota1.4_3.pdf).
4. Meet the Tangle: A quick introduction to the data structure behind IOTA's distributed ledger and protocol. <https://www.iota.org/research/meet-the-tangle>.
5. Грушо А. А., Зацаринный А. А., Тимонина Е. Е. Блокчейны цифровой экономики на базе системы ситуационных центров и централизованного консенсуса // Радиолокация, навигация, связь: Сб. трудов XXV Междунар. науч.-техн. конф. — Воронеж: ВГУ, 2019. Т. 6. С. 183–191.
6. Grusho A., Zatsarinny A., Timonina E. A system approach to information security in distributed ledgers on the situational centers platform // Int. J. Open Information Technologies, 2019. Vol. 7. Iss. 12. P. 46–50.
7. Брыкова Н. В. Теория бухгалтерского учета: Баланс и система счетов. — 2-е изд. — М.: Академия, 2011. 80 с.
8. Танаев В. С., Шкурба В. В. Введение в теорию расписаний. — М.: Наука, 1975. 256 с.

*Поступила в редакцию 15.02.20*



## DESCRIPTION OF DIGITAL ECONOMY DYNAMICS USING AN ELECTRONIC LEDGER

*A. A. Grusho, A. A. Zatsarinny, and E. E. Timonina*

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 examines an earlier e-book model to describe the digital economy at the regional level. The model is based on tangle, which is an upgraded version of blockchain. The security of an e-Ledger is based on the usage of situation centers and the expansion of their functions. At the same time, it is proposed to build an e-Ledger on the basis of a centralized consensus. The paper shows how tangles associated with individual economic actors can monitor the implementation of projects, including through public investment. The built formalization of control allows automating the solution of these tasks for large projects.

**Keywords:** information security; tangle; algebra of tangles; secure digital economy infrastructure

**DOI:** 10.14357/08696527200109

### Acknowledgments

The paper was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 18-29-03124-mk).

### References

1. Grusho, A. A., A. A. Zatsarinny, and E. E. Timonina. 2019. Elektronnaya bukhgalterskaya kniga na baze situatsionnykh tsentrov dlya tsifrovoy ekonomiki [The electronic ledger on the basis of situational centers for digital economy]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(2):4–11.
2. Grusho, A. A., A. A. Zatsarinny, and E. E. Timonina. 2019. Ugrozy elektronnoy bukhgalterskoy knige, postroennoy na baze Tangles [Tangles-based electronic ledger threats]. *Metody i tekhnicheskie sredstva obespecheniya bezopasnosti informatsii* [Information Security Means and Techniques] 28:70–71.
3. Popov, S. 2018. The Tangle. Available at: <https://assets.ctfassets.net/r1dr6vzfxhev/2t4uxvslqk0EUau6g2sw0g/45eae33637ca92f85dd9f4a3a218e1ec/iota1.4-3.pdf> (accessed February 10, 2020).
4. Meet the Tangle. A quick introduction to the data structure behind IOTA’s distributed ledger and protocol. Available at: <https://www.iota.org/research/meet-the-tangle> (accessed February 10, 2020).

5. Grusho, A. A., A. A. Zatsarinny, and E. E. Timonina. 2019. Blokcheyny tsifrovoy ekonomiki na baze sistemy situatsionnykh tsentrov i tsentralizovannogo konsensusa [Blockchains of digital economy on the basis of the system of the situational centers and the centralized consensus]. *Radiolokatsiya, navigatsiya, svyaz': Sb. trudov XXV Mezh-dunar. nauch.-tekh. konf.* [Radarlocation, Navigation, Communication: 25th Scientific and Technical Conference (International) Proceedings]. Voronezh: VSU. 6:183–191.
6. Grusho, A. A., A. A. Zatsarinny, and E. E. Timonina. 2019. A system approach to information security in distributed ledgers on the situational centers platform. *Int. J. Open Information Technologies* 7(12):46–50.
7. Brykova, N. V. 2011. *Teoriya bukhgalterskogo ucheta: Balans i sistema schetov* [Accounting theory: Balance sheet and system of accounts]. 2nd ed. Moscow: Akademiya. 80 p.
8. Tanaev, V. S., and V. V. Shkurba. 1975. *Vvedenie v teoriyu raspisaniy* [Introduction to the theory of schedules]. Moscow: Nauka. 256 p.

Received February 15, 2020

## Contributors

**Grusho Alexander A.** (b. 1946) — Doctor of Science in physics and mathematics, professor, principal scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Sciences and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; grusho@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

**Timonina Elena E.** (b. 1952) — Doctor of Science in technology, professor, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Sciences and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; eltimon@yandex.ru

## ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ СИТУАЦИОННЫЙ ЦЕНТР СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ\*

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

**Аннотация:** Выполненные ранее исследования вопросов информационно-аналитической деятельности, осуществляемой федеральными органами исполнительной власти в интересах стратегического планирования в области национальной безопасности, обеспечили функциональную наполненность ключевого подхода к автоматизации этой деятельности — создание ситуационного центра. Продолжая исследование вопросов, переходя к детальному проектированию платформы информационно-аналитического ситуационного центра (ИАСЦ), авторы статьи анализируют технические, технологические, организационные и правовые факторы, оказывающие принципиальное влияние на проект ИАСЦ. Статья содержит перечень и определения факторов влияния, их систематизацию и краткий анализ. Последующие архитектурные решения должны будут обеспечить как учет выделенных факторов влияния, так и разработанную ранее функциональную схему ИАСЦ, базирующуюся на принципах ситуационного анализа в процессах стратегического планирования в области национальной безопасности.

**Ключевые слова:** стратегическое планирование; ситуационный центр; факторы влияния

**DOI:** 10.14357/08696527200110

### 1 Введение

Предметную область обсуждаемого ИАСЦ определяет деятельность государства по стратегическому планированию в области обеспечения национальной безопасности в соответствии со Стратегией национальной безопасности Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 31 декабря 2015 г. № 683. Подход к созданию автоматизированной системы, обеспечивающий реализацию этой деятельности на платформе ситуационного центра, сформулирован в [1] на основе функционального описания предметной

---

\*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 18-00-00297).

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

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

области в виде процессной модели [2]. В соответствии с этим подходом ИАСЦ позиционируется как составная часть системы управления, обеспечивающей информационно-аналитическую поддержку процессов принятия решений на основе автоматизации функций мониторинга и ситуационного анализа обстановки в контролируемом информационном пространстве, включая сбор, обобщение, аналитическую обработку, хранение, передачу, визуализацию и защиту информации.

В настоящей статье предпринимается следующий шаг по проекту ИАСЦ, а именно: выделяются и анализируются факторы, влияющие на реализацию подходов к созданию ИАСЦ, с тем чтобы в дальнейшем выработать подходящее к решаемым задачам архитектурное решение, предложив модель программно-аппаратной системы — платформы ИАСЦ.

## 2 Общая структура факторов

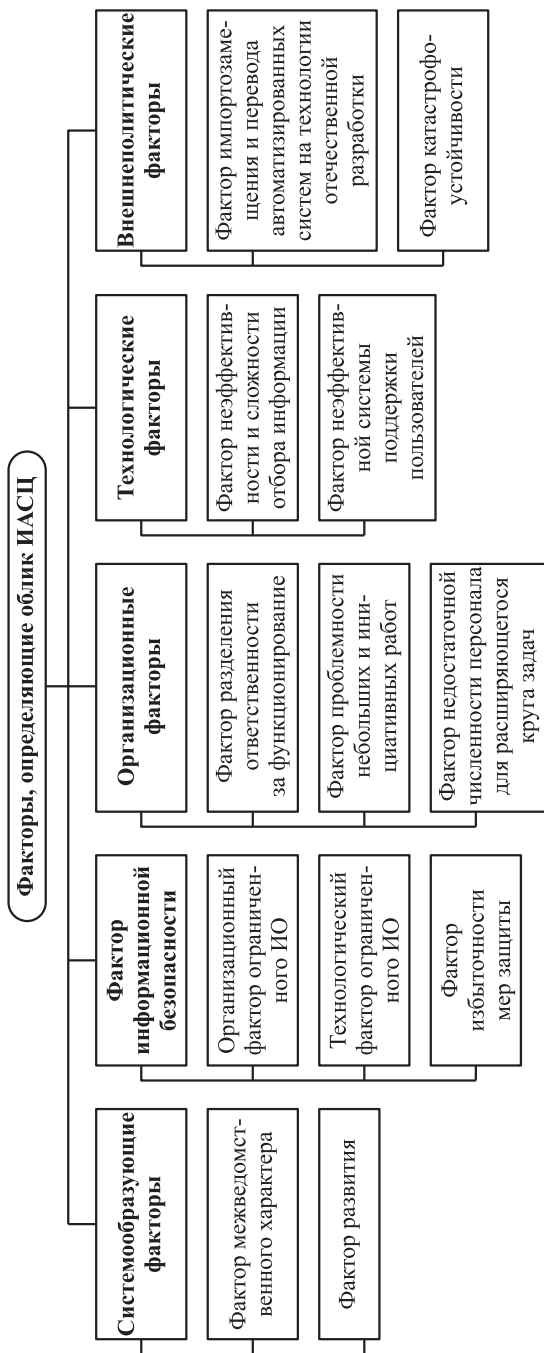
Можно выделить пять групп основных факторов, определяющих процессы проектирования, создания и функционирования современных информационных систем (ИС) в защищенном исполнении, к которым относится, в частности, ИАСЦ (см. рисунок).

Переходя далее к детальному обсуждению каждого фактора, отметим, что предложенная классификация наряду с традиционными условиями, определяющими проект любой автоматизированной системы — техническими и организационными требованиями — и любой защищенной системы — требованиями обеспечения информационной безопасности, — включает два вида «динамических» факторов — условий, формируемых внешней средой, специфическими вызовами, создаваемыми современной, быстроизменяющейся, противоречивой средой, в которую должна встраиваться создаваемая система.

## 3 Условия создания и функционирования информационно-аналитического ситуационного центра

Первую группу факторов, оказывающих принципиальное влияние на процесс создания и функционирования ИАСЦ, охарактеризуем как **системообразующие факторы**, прежде всего определяющие основные цели функционирования государственной системы стратегического планирования в области обеспечения национальной безопасности.

Первый рассматриваемый фактор, характеризующий ключевую особенность ИАСЦ, задан основополагающим документом (Федеральным законом от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации»), в котором субъектами деятельности стратегического планирования определены органы государственной власти Российской Федерации, органы государственной власти субъектов Российской Федерации и органы местного самоуправления в сфере стратегического планирования. Таким образом, государственная система



Структура факторов создания и функционирования ИАСЦ (ИО — информационный объект)

стратегического планирования в целом и ИАСЦ — ее основной технологический центр — в частности определяются как межведомственные. Тот факт, что руководящую роль в этой деятельности выполняет Совет безопасности РФ, далее будем обозначать, отмечая его в качестве координирующего субъекта.

*Межведомственный характер* — важнейший фактор будущего существования ИАСЦ. Центр создается не только для Совета безопасности РФ и не является ведомственным набором инструментов, ресурсов, персонала. Информационно-аналитический ситуационный центр должен объединять всех субъектов, непосредственно осуществляющих государственную деятельность в рамках направления стратегического планирования в области обеспечения национальной безопасности.

Межведомственный характер и глобальная цель системы — обеспечение национальной безопасности Российской Федерации — привносят в функционирование системы тяжелейшие организационно-нормативные, технические и технологические аспекты. Любая межведомственная система — это всегда сложный вызов, тяжелая организационно-техническая задача уже потому, что объединение в интересах общей (даже глобальной государственной) задачи приходится осуществлять для организаций, решающих свои частные задачи (которые для них главные, а общая оказывается второстепенной). В ведомствах разный уровень технической и информационной готовности, компетентности персонала, часто противоречивая нормативная база, да и межведомственные противоречия/конкуренция имеют место. Поэтому от того, насколько хорошо реализованы положительные компоненты влияния фактора межведомственности и насколько надежно нейтрализованы отрицательные составляющие, зависит принципиальная возможность создания и функционирования всей системы стратегического планирования.

Следующий фактор уместно охарактеризовать как *фактор развития*. Даже в течение последних 2–3 лет концептуального обсуждения системы стратегического планирования вокруг вопроса изменилось все — и информационное пространство «вокруг» предметной области, и состояние, и возможности субъектов деятельности, и методы и средства самой деятельности, осуществляемой в рамках стратегического планирования. В этом же ряду следует говорить и о техническом обеспечении, информационных технологиях. Оказывают влияние и другие, в недавнем прошлом, казалось бы, невозможные, факторы — политические обстоятельства, региональные кризисы. Соответственно, разрабатываемое для ИАСЦ архитектурное решение, модель системы должны исходить из возможного прогноза развития государственной системы стратегического планирования, ключевые решения должны вырабатываться на основании такого прогноза.

Что бы ни говорилось, следуя упомянутому закону, об открытом характере процессов стратегического планирования, об общественном обсуждении проектов документов стратегического планирования (статья 13), системе придется обрабатывать значительные объемы закрытой информации, в том числе составляющей государственную тайну, хотя бы потому, что один из документов стратегического

планирования — программы вооружений (статья 29). Таким образом, задача создания и поддержки ИАСЦ сопровождается существенными требованиями в части обеспечения информационной безопасности. **Факторы информационной безопасности** оказывают огромное влияние на функционирование любой ИС, дополняя техническую задачу создания ИС как таковой крайне сложными и дорогостоящими решениями в части создания защищенной ИС. Факторы крайне сложны по причинам как технического, так и в большей степени нормативного характера. Необходимость выполнения нормативных требований означает существенные ограничения в части принятия технических решений. Такую ограниченность уместно охарактеризовать как *организационный фактор ограниченного информационного обеспечения*. Он проявляется в необходимости выполнять целый ряд организационных решений, обязательных для соблюдения правил работы с информацией ограниченного доступа.

Но, естественно, организационными мерами данная группа факторов не исчерпывается. И основной вклад в условия функционирования в этой группе условий вносит *технологический фактор ограниченного информационного обеспечения*. Он дополняет техническую задумку системы целым спектром специализированных аппаратно-программных решений, дорогостоящих и не слишком распространенных, но необходимых для выполнения тех же правил работы с информацией ограниченного доступа.

Наконец, для данной группы факторов крайне важно следующее соображение. При создании защищенных систем велика опасность деструктивного влияния на функционирование системы чрезмерно жестких требований, порождаемых автоматическим распространением требований по защите гостайны на все элементы системы, неучет специфики (например, значительных объемов) обрабатываемой информации. Надо понимать и учитывать уже на стадии проектных решений, что особенно неэффективно расходовать финансовые и временные ресурсы на устранение проблем, привнесенных избыточными требованиями именно к подсистеме информационной безопасности. Это обстоятельство охарактеризуем как *фактор избыточности мер защиты*.

Далее перечислим различные факторы влияния, характеризующиеся как **организационные**. Во-первых, это *фактор разделения ответственности за функционирование* — важный традиционный фактор, хотя и косвенным образом, но существенно влияющий на эффективность функционирования и развития аналогичных ИАСЦ систем. Разделение зон ответственности обычно представляет собой некоторое организационное решение, закрепляющее за разными организациями/подразделениями разные задачи эксплуатации, например: пользовательские, административные, обеспечения безопасности и обеспечения технического функционирования. Такое разделение — естественное и неизбежное явление, и оно обычно закрепляется в формальных документах. Однако в реальной работе часто возникают ситуации, которые требуют принятия нестандартных решений, в том числе связанных с «пограничными моментами» на стыках зон ответственности. И тут фактор опасений ответственности за излишнюю инициативу может

сыграть деструктивную роль, приводя к невозможности решения, казалось бы, несложных проблем.

Отрицательные моменты фактора разделения ответственности за функционирование ИАСЦ должны быть существенным образом минимизированы. Пути решения этих проблем известны — осуществление автоматической регистрации происходящих в системе критических событий для последующих разборов конкретных ситуаций, регулярное обновление эксплуатационной документации с включением в нее требуемых изменений, установление «горизонтальных» связей между специалистами разных подразделений, решающих аналогичные задачи, и т. п. Однако «перегибы» в решениях этих вопросов могут привести к еще более плачевным результатам: если возложить на ИС функцию регистрации всех выполняемых действий, всех выдаваемых пользователю результатов, в том числе промежуточных, то легко получить ситуацию, когда 90% своих ресурсов система будет тратить на этот «технологический» функционал. Обычно хорошо сбалансированное решение может предложить разработчик системы, так как хорошо понимает исходные организационные факторы и представляет имеющиеся технологические ограничения.

Следующий — *фактор проблемности небольших и инициативных работ*. В действующих системах необходимо время от времени осуществлять улучшение функциональных характеристик. Решением могли бы стать небольшие постоянные доработки, выполняемые по схеме «мелких дел». Но сложившаяся в настоящее время практика эксплуатации защищенных ИС делает выполнение таких работ очень проблематичным. На это влияют как организационно-финансовые причины (небольшие договоры на небольшие работы требуют согласования со многими подразделениями на уровне масштабных работ и поэтому не находят поддержки заказывающих подразделений), так и требования по безопасности — любое изменение программного кода влечет проведение дополнительных исследований, экспертизы результатов, изменения разрешительных документов и т. п. И если вопросы финансирования таких работ можно решить путем налаживания регулярного технического сопровождения и авторского надзора, то вопросы, связанные с рассмотренным ранее фактором повышения информационной безопасности, требуют нестандартных подходов к решению.

Следующий организационный фактор — *фактор недостаточной численности персонала для расширяющегося круга задач*. Состав и объемы задач, решаемых в ИАСЦ, будут расти вместе с развитием системы стратегического планирования, а численность персонала, занятого эксплуатацией (функциональной и технической), может оказаться фиксированной решениями при вводе в эксплуатацию. Таким образом, еще на стадии проектирования нужно предусмотреть, что и делается традиционно, решения по развитию системы и непременно включить в них прогнозы по численности персонала, оценки затрат на расширение штата.

Группу **технологических факторов** порождают особенности функциональной схемы ИАСЦ, необходимого для ее реализации программного и технического обеспечения. Наиболее потенциально значимым становится *фактор неэффек-*



тивности и сложности отбора информации. Он вызван очевидными объективными причинами: в ИАСЦ окажется сформированной значительная совокупность различных банков и баз данных (это следует даже из начальных предложений по информационному фонду, сформулированных в [2]). Естественно, функциональные средства ИАСЦ обеспечат систему собственными поисковыми возможностями, но они не могут быть всеобъемлющими и универсальными. Так, невозможно учесть принципиальные различия в информационных моделях разных банков (от разнотипных баз данных до слабоструктурированных и неструктурированных текстовых массивов), используемых бинарных форматов, различных неунифицированных программных интерфейсов (API), в частности для внешних поисковых программ. Скорее всего, большинство используемых банков будут обеспечены собственными средствами поиска, но это только усложнит задачи конечного пользователя в связи с потенциальным многообразием и разнообразием привлекаемых источников информации. Поэтому в ходе реализации проекта ИАСЦ необходимо стремиться к унификации поисковых механизмов, форматов получаемых результатов, создавать в рамках каждой подсистемы специализированные интерфейсы (API) для внешних поисковых программ и постепенно двигаться в сторону получения «единого окна» для выполнения поисковых запросов. Наличие «единого окна» позволит сократить «накладные расходы» (временные и людские) на обработку запроса пользователя и отбор данных по каждому объекту мониторинга системы стратегического планирования [3, 4].

Также на стадии проектирования необходимо исключить или минимизировать влияние фактора неэффективной системы поддержки пользователей. Вопрос организации эффективной сервисной поддержки пользователей ИАСЦ встанет неминуемо. Использовать для этого следует современные хорошо проработанные методологии сервисной поддержки, прежде всего Information Technology Infrastructure Library (ITIL) [5]. Целью сервисной поддержки должна быть максимально быстрая ликвидация проблем в инфраструктуре ИАСЦ. Для реализации процесса должен быть создан центр обслуживания пользователей (Service Desk). Пользователи должны быть оснащены необходимыми программными средствами, позволяющими оперативно сформировать заявку на решение некой проблемы, и контролировать состояние ее решения.

Не более 5–7 лет назад внешнеполитические обстоятельства не оказали бы никакого существенного влияния на такой проект, как ИАСЦ. К настоящему времени ситуация кардинально изменилась, что вынуждает учитывать влияние **внешнеполитических факторов** в любом государственном проекте создания ИС, тем более масштабной и в особенности защищенной. На первую роль в этой связи выдвинем фактор импортозамещения и перевода автоматизированных систем на технологии отечественной разработки — один из важнейших ограничивающих факторов, влияющих кардинальным образом на функциональные возможности системы. Для понимания его важности можно упомянуть несколько возможных сценариев импортозамещения, характерных для ИС федеральных органов исполнительной власти.

Очевидный сценарий (традиционно-эволюционный) исходит из того, что в силу сложившейся реальности практически невозможно отказаться от традиционных платформ вычислительной техники, закупленного и разработанного программного обеспечения, в которое вложены триллионы рублей по всей Российской Федерации. Соответственно, реализуется постепенный, по мере устаревания имеющихся решений, переход на аналогичные платформы, комплектующие к которым выпускаются в дружественных по отношению к РФ странах, но на 100% совместимые с традиционной архитектурой (Intel, как правило). В этом сценарии окончательная сборка вычислительной техники выполняется отечественными компаниями, а с дополнением ее отечественными средствами защиты информации техника признается отечественной, что дает новую аппаратную платформу, пригодную в том числе и для эволюционного развития. В силу мирового развития IT-сферы и мирового разделения труда такая техника не будет значительным образом отставать от решений ведущих мировых компаний (Dell, HPE, IBM, Lenovo, Huawei), поэтому принципиального отрицательного влияния на стратегию создания ИАСЦ такой вариант импортозамещения не окажет.

Трудно, дорогостояще, но без особых критических ситуаций может пройти и импортозамещение проприетарного программного обеспечения (например, операционных систем (ОС) Windows, систем управления базами данных (СУБД) Oracle и т. д.) отечественными переработками западного программного обеспечения с открытыми исходными кодами — линейки ОС Linux, СУБД PostgreSQL, LibreOffice, платформы Mono и т. п. В этом случае достаточно будет эволюционным путем постепенно переносить необходимый функционал применяемых в ИАСЦ банков данных под новые отечественные базовые платформы системных средств.

Однако возможны и другие варианты сценариев импортозамещения, более кардинальные. Например, интеллектуальные блоки неизвестного содержания, защищенные криптографическими методами в процессорах и чипсетах Intel, будут признаны неприемлемыми для использования в защищенных системах. Процессоры на основе лицензированных у британской компании ARM Limited интеллектуальных (IP — intellectual property) блоков на базе архитектуры ARM тоже не будут считаться полностью отечественной разработкой. Открытость архитектуры процессора и системы зарубежной разработки (например, OpenPower, принадлежащий одноименному консорциуму, или OpenRISC, разработанный международным сообществом OpenCores и распространяемый по лицензии GNU LGPL) перестанет считаться поводом для его копирования и называния «отечественной» разработкой. Возможно, и клоны ОС Linux, коды которой хотя и находятся в свободном доступе, но тем не менее написаны зарубежными специалистами, не смогут считаться доверенной отечественной ОС, свободной от лицензионных ограничений.

В этом кардинальном варианте импортозамещения остается единичное число пригодных для использования в ИС решений — например отечественные

процессоры линейки «Эльбрус» (в 2017 г. выпущена 8-ядерная версия с частотами до 1,3 ГГц) производства ЗАО «МЦСТ» и вычислительная техника на его основе, которая активно используется Министерством обороны Российской Федерации в системах вооружений, а в сфере системного программного обеспечения может остаться несколько простейших отечественных ОС, не являющихся клонами Linux, например QP ОС. Необходимо понимать, что технологически это «отбрасывает» ИАСЦ на уровень десятилетней давности в лучшем случае. Но и в этой ситуации возможно выполнение задач, возложенных на систему стратегического планирования, пусть и с серьезным ухудшением функциональных характеристик.

Наконец, внешнеполитические угрозы заставляют не забывать об учете *фактора катастрофоустойчивости*, который подразумевает очень широкий диапазон возможных решений от удаленного, надежного хранения резервных архивных копий основных накопленных данных до создания территориально удаленного резервного центра обработки данных, находящегося в режиме полной готовности и содержащего полный «слепок» имеющихся банков данных ИАСЦ, а также способный принять необходимое число сотрудников, когда штатный режим работы на существующих объектах станет невозможен.

#### 4 Заключение

Проведенный в данной статье анализ и систематизацию условий реализации государственного проекта создания ИАСЦ, обеспечивающего автоматизацию ключевых задач, решаемых во взаимодействии с субъектами стратегического планирования в области обеспечения национальной безопасности, следует рассматривать как первый шаг на пути практической реализации. Обладая теперь проработанной функциональной моделью системы и данным исследованием условий (факторов влияния), оказывающих принципиальное влияние как на процесс создания ИАСЦ, так и его будущее функционирование, можно обоснованно перейти к следующему шагу — выбору архитектурных, а затем и конкретных технических решений. Именно этой тематике будет посвящена вторая часть работы.

#### Литература

1. Сучков А. П., Босов А. В. Концептуальные подходы к созданию информационно-аналитического ситуационного центра в интересах стратегического планирования в области обеспечения национальной безопасности // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 4. С. 73–85.
2. Сучков А. П., Босов А. В., Макоско А. А. Ситуационный анализ в процессах стратегического планирования в области обеспечения национальной безопасности // Инновации, 2018. Т. 238. Вып. 8. С. 33–39.

3. Сучков А. П., Зацаринный А. А. Проблемно-ориентированная модель угрозы национальной безопасности // Информационные войны, 2017. Т. 44. № 4. С. 74–80.
4. Зацаринный А. А., Осипов Г. С., Сучков А. П. Некоторые методические подходы к формированию проблемно-ориентированной модели угроз национальной безопасности как важнейшего компонента системы межведомственного информационного взаимодействия в интересах обороны Российской Федерации: Доклад на III Межведомственной научно-практич. конф. «Система межведомственного информационного взаимодействия при решении задач в области обороны Российской Федерации». — М., 2017.
5. ITIL® Service Strategy. — London: TSO, 2007. 266 p.

*Поступила в редакцию 17.10.19*

---

---

## **INFORMATION AND ANALYTICAL SITUATIONAL CENTER FOR STRATEGIC PLANNING IN THE FIELD OF NATIONAL SECURITY: FACTORS OF INFLUENCE**

*A. V. Bosov 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:** Earlier studies of information and analytical activities carried out by Federal Executive authorities in the interests of strategic planning in the field of national security, provided the functional content of the key approach to automate this activity — the creation of a situation center. Continuing the study of issues, moving on to the detailed design of the platform of the information and analytical situation center (IASC), this article analyzes the technical, technological, organizational, and legal factors that have a fundamental impact on the IASC project. The article contains a list and definitions of influence factors, their systematization, and brief analysis. Subsequent architectural decisions will need to ensure consideration of the factors of influence and previously developed functional scheme of IASC, based on the principles of situational analysis in strategic planning processes in the area of national security.

**Keywords:** strategic planning; situation center; factors of influence

**DOI:** 10.14357/08696527200110

### **Acknowledgments**

The study was funded by the Russian Foundation for Basic Research, project No. 18-00-00297.

## References

1. Suchkov, A. P., and A. V. Bosov. 2018. Kontseptual'nye podkhody k sozdaniyu informatsionno-analiticheskogo situatsionnogo tsentra v interesakh strategicheskogo planirovaniya v oblasti obespecheniya natsional'noy bezopasnosti [Conceptual approaches to the creation of information and analytical situation center in the interests of strategic planning in the field of national security]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 28(4):73–85.
2. Suchkov, A. P., A. V. Bosov, and A. A. Makosko. 2018. Situatsionnyy analiz v protsessakh strategicheskogo planirovaniya v oblasti obespecheniya natsional'noy bezopasnosti [Situation analysis in the processes of strategic planning in the field of national security]. *Innovatsii* [Innovations] 238(8):23–29.
3. Suchkov, A. P., and A. A. Zatsarinny. 2017. Problemno-oriyentirovannaya model' ugrozy natsional'noy bezopasnosti [The problem-oriented model of the threat to national security]. *Informatsionnyye voyny* [Information warfare] 44(4):74–80.
4. Zatsarinny, A. A., G. S. Osyrov, and A. P. Suchkov. 2017. Nekotorye metodicheskie podkhody k formirovaniyu problemno-oriyentirovannoy modeli ugroz natsional'noy bezopasnosti kak vazhneyshogo komponenta sistemy mezhvedomstvennogo informatsionnogo vzaimodeystviya v interesakh oborony Rossiyskoy Federatsii [Some methodical approaches to the formation of a problem-oriented model of threats to national security as the most important component of the system of interagency information cooperation in the interests of the defense of the Russian Federation]. Doklad na III Mezhvedomstvennoy nauchno-praktich. konf. "Sistema mezhvedomstvennogo informatsionnogo vzaimodeystviya pri reshenii zadach v oblasti oborony Rossiyskoy Federatsii" [Report at the 3rd Interdepartmental Scientific and Practical Conference "System of interdepartmental information interaction in solving problems in the field of defense of the Russian Federation"]. Moscow.
5. TSO. 2007. ITIL® Service Strategy. London. 266 p.

Received October 17, 2019

## Contributors

**Bosov Alexey V.** (b. 1969) — Doctor of Science in technology, 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; AVBosov@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@frccsc.ru

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ: ОНТОЛОГИЯ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ, МОДЕЛИ И ВАРИАНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

*А. В. Борисов<sup>1</sup>, А. В. Босов<sup>2</sup>, Д. В. Жуков<sup>3</sup>, А. В. Иванов<sup>4</sup>, Д. В. Сушко<sup>5</sup>*

**Аннотация:** Вопросы транспортной безопасности рассматриваются с позиции информационного обеспечения. С этой целью формируется описание предметной области для базового процесса — транспортной перевозки пассажира. Выделены основные объекты предметной области, связи, дано их описание. Концептуальная модель детализирует описание предметной области вплоть до указания конкретных словарей и классификаторов, диаграммы классов. В качестве ключевых объектов предлагаются «сложный пассажир» и «поездка». «Сложный пассажир» — это технический прием, позволяющий объединять сведения об одном физическом лице, совершающем «поездки» разными видами транспорта, т. е. сопровождаемые разными наборами атрибутов, на основе задаваемых гибко правил идентификации. Окончательно дано описание онтологии, которая предлагается в качестве основания для реализации полноценной системы поддержки принятия решений (СППР) в выбранной области. Предложенная методика использовалась авторами в ряде выполненных проектов и доказала свою эффективность.

**Ключевые слова:** онтология; концептуальная схема; транспортная безопасность; информационная модель

**DOI:** 10.14357/08696527200111

### 1 Введение

Транспорт — предмет изучения и источник самых разных исследовательских задач. Прежде всего, транспортные — это задачи логистики, начиная с самых

---

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

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

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

<sup>4</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, AIvanov@ipiran.ru

<sup>5</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, DSushko@ipiran.ru

известных — транспортной задачи Монжа–Канторовича, задачи коммивояжера [1] — и заканчивая сложными моделями передвижения, учитывающими все нюансы вплоть до возможностей бокового столкновения для железнодорожного транспорта [2]. Такого рода постановки в большей степени относятся к области математического моделирования, оптимизации. Предмет же изучения в данной работе — информационное моделирование, в котором транспортная область в целом позиционируется в качестве источника задач поддержки принятия решений в информационной сфере. Более конкретно, область исследования определяется сферой обеспечения безопасности пассажиров при использовании транспорта. Потребность в решении таких задач возникла как ответ на вызовы, возникающие в связи с формированием в Российской Федерации активной поддержки во всех аспектах транспортной безопасности в правовой сфере. В первую очередь, это федеральные законы [3–5], регламентирующие обработку персональных данных пассажиров, а также взаимосвязанные с ними постановления и распоряжения правительства и различных министерств. Одним из результатов принятия этих законов стало создание Единой государственной информационной системы обеспечения транспортной безопасности (ЕГИС ОТБ). Эта система информационно обеспечивает деятельность федеральных органов исполнительной власти по реализации установленных правовых, экономических, организационных и иных мер, призванных противостоять угрозам совершения актов незаконного вмешательства в работу транспортного комплекса [6].

Именно пассажирским перевозкам в значительной степени уделено внимание в цитируемых законодательных актах, поэтому и выбор их в качестве предметной области для информационного моделирования представляется обоснованным и целесообразным. В конечном итоге для тех или иных СППР, используемых в области транспортной безопасности или близких областях, имеется целый ряд информационных моделей и задач, обладающих практической полезностью и инновационностью и дополняющих традиционные в этой области методы новыми, рожденными благодаря возможностям современных информационно-технологических систем. Такого рода методам и посвящена работа, а основное внимание уделено начальному этапу — представлению предметной области и формированию ее концептуальной модели. В качестве результата здесь позиционируется довольно четкое представление об онтологии выбранной предметной области, что формирует базис для дальнейших результатов — поисковых, оперативных и процессинговых процедур над данными, формируемыми в рамках предложенной модели.

## 2 Описание предметной области

Предметная область — пассажирские перевозки — известна каждому человеку, совершившему хотя бы одну поездку на любом из видов транспорта. Поездка подразумевает перевозку пассажира и его багажа из пункта отправления в пункт назначения перевозчиком. Для осуществления поездки между



перевозчиком и пассажиром должен быть заключен договор, фиксирующий обязательства перевозчика. Данный договор подтверждается проездным документом (билетом). В роли перевозчиков выступают юридические лица: индивидуальные предприниматели, различные агентства и транспортные компании. Перевозки осуществляются различными видами транспорта: автомобильным, воздушным, железнодорожным, речными и морскими судами. Перевозки можно классифицировать в зависимости от вида транспорта, пунктов отправления и прибытия (конечные/промежуточные, внутри/вне страны), а также видов маршрутов перемещения (беспересадочные, транзитные, трансферные) и т. д. Пассажиром является физическое лицо, купившее билет и таким образом заключившее договор о перевозке.

Процессы организации перевозок, планирования маршрутов и продажи билетов связаны с обработкой существенных объемов информации. С этой информацией объединяются также персональные данные пассажиров. Статья 11 Федерального закона № 16-ФЗ «О транспортной безопасности» [4] предусматривает сбор персональных данных в информационных системах, которые обеспечивают продажу проездных документов. В соответствии с законодательством РФ согласия субъекта персональных данных в данном случае не требуется. Данные пассажиров передаются перевозчиками в автоматизированные централизованные базы персональных данных о пассажирах. При оформлении билетов в таких базах данных накапливаются следующие данные о пассажирах: фамилия, имя, отчество; дата и место рождения; вид и номер документа, удостоверяющего личность; пункт отправления, пункт назначения, вид маршрута следования (беспересадочный, транзитный); дата поездки.

Контроль за соблюдением порядка передачи данных в автоматизированные централизованные базы персональных данных о пассажирах осуществляется федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по контролю и надзору в сфере транспорта.

На основании данного описания очевидна возможность формального информационного моделирования этой предметной области с целью решения самых разных задач в целях обеспечения безопасности на транспорте.

### **3 Концептуальная модель области пассажирских перевозок**

Основным понятием предметной области пассажирских перевозок служит «поездка». В конечном итоге именно поездка, т. е. перемещение пассажира из одного пункта в другой, составляет как цель двух других объектов — «пассажира» и «перевозчика», так и обслуживающего, контролирующего систему пассажирских перевозок сервиса — системы по бронированию/продаже билетов. Сам билет, в особенности в современных условиях электронных платежей, бронирований и регистраций, не считается целесообразным даже включать в состав описания предметной области. В то же время можно рассматривать объект



«поездка», находящийся в определенном состоянии (бронирование, оплата, регистрация, отмена и т. п.), как синоним понятия «билет».

Следующий по значимости объект — «пассажир». В рассматриваемом случае это физическое лицо, характеризуемое набором персональных данных в соответствии с Федеральным законом [4]. Первичны здесь фамильно-именная группа, дата и место рождения. Но более привычны для идентификации паспортные данные. Важно понимать при этом, что эти данные могут браться не только из паспорта, но и из любого законного его эквивалента, например военного билета, заграничного паспорта и т. д. Соответственно, в модели должно учитываться это обстоятельство, например путем использования словаря типов документов и общего, универсального поля «номер документа». Но этого недостаточно, так как разные виды документов предполагают и разную интерпретацию персональных данных. Так, фамильно-именная группа может быть указана как на русском языке, так и латиницей.

Поскольку модель предполагается использовать для решения задач, связанных с перемещениями конкретных пассажиров на различных видах транспорта, а одной из таких задач является поиск, то возникает необходимость отдельного хранения обоих представлений фамильно-именной группы, а также наличия функции автоматического формирования недостающего представления. Подобный функционал необходим для обеспечения эффективности поиска, а наличие отдельных атрибутов важно и на стадии формирования онтологии, с тем чтобы одно и то же физическое лицо описывалось и идентифицировалось, с одной стороны, однозначно, с другой — гибко с момента формирования хранилища информации.

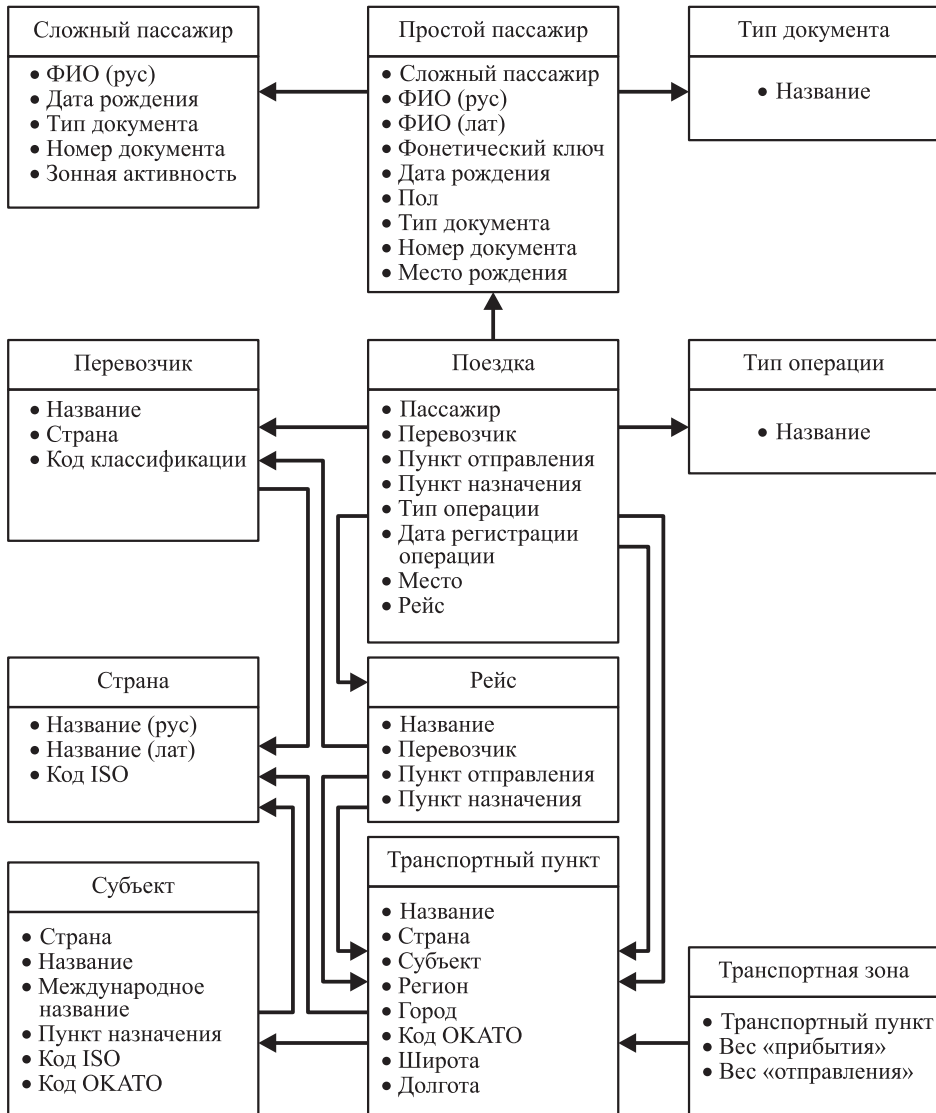
Решение упомянутых задач привело к необходимости введения еще одного объекта, не привязанного к конкретному виду транспорта, который получил название «сложный пассажир».

Сложный пассажир — это вспомогательный объект, позволяющий агрегировать данные о перемещении физического лица на нескольких видах транспорта. Описанный выше объект «пассажир», или «простой пассажир», содержит данные физического лица, совершающего поездку на одном конкретном виде транспорта. Однако эта поездка может быть лишь частью маршрута перемещения физического лица. Чтобы получить представление обо всем этом маршруте, необходимо учесть все пересадки пассажира с одного вида транспорта на другой и объединить совершенные пассажиром поездки. При этом возникает сложность, связанная с тем, что информация о поездке для разных видов транспорта отличается и ее непосредственное объединение невозможно. Чтобы обойти эту сложность при решении задач, предлагается выделять только общий для всех видов транспорта набор атрибутов объекта «поездка» и ограничить информацию о поездке только этими атрибутами.

«Перевозчик» — это объект, содержащий наименование юридического лица, выполняющего перевозку, а также страну принадлежности перевозчика и, в случае авиационных перевозок, коды перевозчика по классификациям международ-

ной организации гражданской авиации (ИКАО) и международной ассоциации воздушного транспорта (ИАТА).

Еще один объект, необходимый для задания начальной и конечной точек поездки, — это «транспортный пункт». Транспортными пунктами могут быть



Концептуальная модель области пассажирских перевозок

аэропорты, железнодорожные станции, автовокзалы, речные и морские порты. Ключевым для транспортного пункта является его географическое положение, которое может быть задано различными способами. Как правило, это привязка к ближайшему населенному пункту, хотя возможно и использование географических координат. Для каждого транспортного пункта может существовать внутренняя классификация, специфичная для конкретного вида транспорта.

Так как движение транспортных средств происходит по регламентированным маршрутам, важно выделить такой объект, как «Рейс», определяющий начальную и конечную точки маршрута.

Помимо объектов в модель включаются также словари, определяющие список стран, список субъектов РФ для поездок внутри страны, список типов документов, удостоверяющих личность, и список типов операций, возникающих в ходе оформления и выполнения поездки и описывающих ее состояние (бронирование, оплата, регистрация, отмена). Итог рассуждениям данного раздела подведен на диаграмме, представленной на рисунке.

#### **4 Онтология области пассажирских перевозок**

В приведенную выше концептуальную модель предлагается включить ряд понятий и атрибутов, необходимых для реализации функций и задач СППР, которая могла бы использоваться в интересах информационного и аналитического сопровождения деятельности в области обеспечения безопасности и расследования инцидентов на транспорте. В качестве примера функций и задач, которые могут быть востребованы в такой системе, можно привести:

- поиск пассажиров по текстовым атрибутам;
- поиск сведений о поездках пассажиров;
- обнаружение одновременного следования пассажиров;
- вычисление интенсивности пребывания в зонах интереса;
- поиск совпадений событий с перемещениями пассажиров;
- статистический анализ пассажиропотока.

В качестве информационной основы для такой СППР предлагается онтология, содержащая следующие классы: сложный пассажир; простой пассажир; поездка; перевозчик; рейс; транспортный пункт; транспортная зона; страна; субъект; тип документа; тип операции.

Обратим внимание здесь на новый по отношению к описанию предметной области класс «транспортная зона». Этот класс нужен для описания определенной группы транспортных пунктов, посещение которых пассажирами может представлять специальный интерес аналитика. В классе имеются атрибуты «транспортный пункт», «вес прибытия» и «вес отправления» (коэффициенты, используемые при расчете параметра «зонная активность» в случае, если пассажир прибывает в указанный транспортный пункт либо отправляется из него).

Выделим также ряд вспомогательных атрибутов, включение которых целесообразно для реализации функционала СППР.

*Зонная активность* — атрибут класса «сложный пассажир», содержащий значение, вычисляемое исходя из частоты посещения пассажиром транспортных пунктов, представляющих специальный интерес аналитика.

*Фонетический ключ* — атрибут класса «простой пассажир», позволяющий реализовать нечеткий поиск (с учетом фонетических искажений).

*Дата регистрации* — атрибут класса «простой пассажир», содержащий дату регистрации операции и используемый при поиске пассажиров.

*Место* — атрибут класса «простой пассажир», содержащий номер места в пределах транспортного средства и используемый при поиске пассажиров.

*ФИО (рус/лат)* — атрибуты, содержащие фамильно-именную группу, записанные кириллицей/латиницей. В случае отсутствия в исходных данных должен формироваться автоматически из атрибута «ФИО (лат/рус)».

*Код ОКАТО* — атрибут, содержащий идентификатор ближайшего к транспортному пункту (вокзалу, станции, остановке) населенного пункта по общероссийскому классификатору ОКАТО.

## 5 Заключение

Приведенные концептуальная модель и онтология области пассажирских перевозок могут быть применены в самых разных автоматизированных системах управления и поддержки принятия решений. Содержательный тематический потенциал можно обнаружить в таких приложениях, как индивидуальная реклама и клиентские сервисы (в частности, построение «профиля покупателя»), маркетинг, оптимизация ценовой политики и пр. Но приоритетной остается сфера обеспечения безопасности на транспорте. Функционал соответствующих систем может включать большое число вариантов поисковых запросов различной сложности, которые в указанной сфере могут быть полезны, например, при проведении расследований, анализа сложившихся ситуаций. Кроме того, могут быть востребованы и более сложные задачи, которые не сводятся к поиску и предполагают использование комбинаторных алгоритмов. На основе предложенной модели предполагается в рамках дальнейшего исследования разработать серию таких аналитических задач. Также есть и возможность дальнейшего развития в направлении системного процессинга данных, выявления тенденций, которые могут представлять интерес в рамках расследований. Этому будут посвящены следующие статьи.

## Литература

1. Korte B., Vygen J. Combinatorial optimization. Theory and algorithms. — Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. 597 p.

2. Босов А. В., Игнатов А. Н., Наумов А. В. Модель передвижения поездов и маневровых локомотивов на железнодорожной станции в приложении к оценке и анализу вероятности бокового столкновения // Информатика и её применения, 2018. Т. 12. Вып. 3. С. 107–114.
3. О персональных данных: Федеральный закон № 152-ФЗ от 27.07.2006.
4. О транспортной безопасности: Федеральный закон № 16-ФЗ от 09.02.2007.
5. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам обеспечения транспортной безопасности: Федеральный закон № 15-ФЗ от 03.02.2014.
6. Единая государственная информационная система обеспечения транспортной безопасности, 2012. <https://www.mintrans.ru/activities/94/7/9>.

Поступила в редакцию 03.02.20

---

---

## INFORMATION ASPECTS OF SECURITY IN TRANSPORT: ONTOLOGY OF THE SUBJECT AREA, MODELS, AND CASES

*A. V. Borisov, A. V. Bosov, D. V. Zhukov, A. V. Ivanov, and D. V. Sushko*

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:** Transport safety issues are considered from the point of view of information support. For this purpose, a description of the subject area for the basic process is formed — the transportation of passengers. The main objects of the subject area and links are highlighted and their descriptions are given. The conceptual model details the description of the subject area up to the indication of specific dictionaries and classifiers, class diagrams. “Complex passenger” and “trip” are proposed as key objects. “Complex passenger” is a technique that allows combining information about one individual making “trips” by different types of transport, i. e., accompanied by different sets of attributes, based on versatile defined identification rules. The description of the ontology is finally given. It is proposed as the basis for the implementation of a full-fledged decision support system in the selected field. The proposed methodology was used by the authors in a number of completed projects and proved its effectiveness.

**Keywords:** transport safety; information model; conceptual framework; ontology

**DOI:** 10.14357/08696527200111

### References

1. Korte, B., and J. Vygen. 2006. *Combinatorial optimization. Theory and algorithms*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 597 p.

2. Bosov, A. V., A. N. Ignatov, and A. V. Naumov. 2018. Model' peredvizheniya poezdov i manevrovyykh lokomotivov na zheleznodorozhnoy stantsii v prilozhenii k otsenke i analizu veroyatnosti bokovogo stolknoveniya [Transportation of trains and shunting locomotives at the railway station model for evaluating and analysis of side-collision probabilities]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 12(3):107–114.
3. O personal'nykh dannykh: Federal'nyy zakon 152-FZ [About personal data: Federal law 152-FZ]. July 27, 2006.
4. O transportnoy bezopasnosti: Federal'nyy zakon 16-FZ [About transport security: Federal law No. 16-FZ]. February 9, 2007.
5. O vnesenii izmeneniy v otdel'nyye zakonodatel'nyye akty Rossiyskoy Federatsii po voprosam obespecheniya transportnoy bezopasnosti: Federal'nyy zakon 15-FZ [On Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation on the Issues of Ensuring Transport Security: Federal law No. 15-FZ]. February 3, 2014.
6. Edinaya gosudarstvennaya informatsionnaya sistema obespecheniya transportnoy bezopasnosti [Unified State Transport Security Information System]. Available at: <https://www.mintrans.ru/activities/94/7/9> (accessed January 30, 2020).

*Received February 3, 2020*

## **Contributors**

**Borisov Andrey V.** (b. 1965) — Doctor of Science in physics and mathematics, 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; [ABorisov@ipiran.ru](mailto:ABorisov@ipiran.ru)

**Bosov Alexey V.** (b. 1969) — Doctor of Science in technology, 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; [AVBosov@ipiran.ru](mailto:AVBosov@ipiran.ru)

**Zhukov Denis V.** (b. 1979) — principal specialist, 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; [DZhukov@ipiran.ru](mailto:DZhukov@ipiran.ru)

**Ivanov Alexey V.** (b. 1976) — Candidate of Science (PhD) in technology, 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; [AIvanov@ipiran.ru](mailto:AIvanov@ipiran.ru)

**Sushko Dmitry V.** (b. 1962) — Candidate of Science (PhD) in technology, 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; [DSushko@ipiran.ru](mailto:DSushko@ipiran.ru)

## ПЛАНИРОВАНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ В (ПОСТ)ГРАНТОВЫЙ ПЕРИОД

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

**Аннотация:** Рассматривается опыт Швейцарского национального научного фонда (ШННФ) по организации жизненного цикла информационных ресурсов и продуктов (ИРП) в грантовый и постгрантовый период. В частности, приводятся отрывки из обязательных к исполнению правовых документов, рассматривается рекомендуемая ШННФ структура плана по управлению данными, основанного на принципах «справедливого» доступа к данным (FAIR Data Principles), а также требования ШННФ к репозиториям, где необходимо размещать полученные в ходе финансируемого проекта ИРП. Статья позволяет получить начальное представление об организации жизненного цикла данных в грантовый и постгрантовый период согласно требованиям ряда зарубежных научных учреждений и может служить практическим руководством для исследователей, впервые столкнувшихся с проблемой планирования жизненного цикла данных, получаемых в ходе грантового проекта.

**Ключевые слова:** план по управлению данными; жизненный цикл данных; (со)хранение данных; цифровые репозитории; принципы справедливого доступа к данным; этико-правовые аспекты; стандартизация метаданных

**DOI:** 10.14357/08696527200112

### 1 Введение

Актуальность обзорной статьи обусловлена тем, что имеются случаи, когда недостаточная правовая определенность по вопросам хранения ИРП, созданных в результате научных проектов, негативно отражается на их дальнейшей судьбе.

В качестве примера можно привести Национальный корпус русского языка (НКРЯ), который существует с 2004 г. и является уникальным, не имеющим мировых аналогов информационным продуктом (см. <http://www.ruscorpora.ru/new/corpora-about.html>). С одной стороны, НКРЯ создается усилиями специалистов целого ряда институтов РАН (ИРЯ, ИЯз, ИППИ, ИПИ, ВИНТИ, ИЛИ) и вузов (СПбГУ, Казанский федеральный университет и др.). С другой

---

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

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

стороны, техническая поддержка НКРЯ выполняется компанией «Яндекс» в порядке благотворительности (фактически как его оператором). Создание НКРЯ финансировалось в рамках программ Отделения историко-филологических наук РАН в 2003–2009 гг. и программ Президиума РАН в 2009–2014 гг. Оно было также поддержано грантами РГНФ, РФФИ, Федерального агентства по образованию. Однако сейчас правовой статус НКРЯ во многом не определен. В случае прекращения благотворительной поддержки со стороны «Яндекса» дальнейшую судьбу НКРЯ предсказать невозможно, так как его функциональность во многом определяется инфраструктурой этой компании.

Отметим, что проблема «белых пятен» в правовом регулировании вопросов хранения и использования ИРП в постгрантовый период актуальна не только для РФ. Например, чтобы разрешить эту проблему, ШННФ (Swiss National Science Foundation, SNSF), финансирующий в числе прочих швейцарско-российские проекты, с 2017 г. ввел новый обязательный пункт в грантовую заявку: наряду с научной компонентой заявитель должен представить план по управлению данными (Data Management Plan).

План представляет собой развернутый проспект того, как будут происходить генерация, сбор и документирование данных. Также в рамках плана необходимо предусмотреть, как и в каком объеме полученные данные будут доводиться до научного сообщества, описать связанные с этим возможные эτικο-правовые вопросы. Кроме того, в обязательном порядке грантозаявитель должен отразить вопрос будущего размещения ИРП в репозиториях, сертифицированных ШННФ, и описать весь жизненный цикл ИРП в постгрантовый период. Отмечается, что полученный в результате проекта массив данных необходимо тщательно документировать и присвоить ему метаданные, чтобы у стороннего исследователя создалось отчетливое представление, как, кем и когда производился сбор или генерация данных и какие условия требуются для их использования. Публичный доступ к ИРП предлагается организовывать в соответствии с принципами, лучившими международное обозначение как «FAIR Data Principles» (принципы «справедливого» доступа к данным, см. [1])<sup>1</sup>, которыми руководствуются в своей деятельности такие организации, как, например, Еврокомиссия и Национальный институт здравоохранения США.

Таким образом, цель обзорной статьи — описать опыт ШННФ по организации жизненного цикла ИРП в грантовый и постгрантовый период. Это определяет практическую значимость статьи: поскольку постгрантовый жизненный цикл ИРП, которые получены в ходе проектов, финансируемых государственными научными фондами, в РФ оказывается в зоне существенной правовой неопределенности, данный вопрос требует подробного анализа. В дальнейшем его результаты помогут выработать концепцию, позволяющую избежать возможных негативных эффектов (например, утраты ценных ИРП).

---

<sup>1</sup>Расшифровку аббревиатуры и содержание принципов см. ниже.



## 2 Правовое регулирование жизненного цикла информационных ресурсов и продуктов в (пост)грантовый период (опыт Швейцарского национального научного фонда)

Принципы открытой науки<sup>1</sup> требуют, чтобы ИРП (собранные для исследования или сгенерированные в его ходе данные, необходимые для независимого воспроизведения исследования) были доступны максимальному числу ученых и научных организаций. Швейцарский национальный научный фонд придерживается этих принципов, поэтому в Правилах фонда по финансированию поддерживаемых проектов установлено, что в ходе исследовательской работы и после ее завершения грантополучатели обязаны обеспечить доступ к результатам исследований, финансируемых ШННФ, ссылаясь на поддержку, полученную от Фонда [3, ст. 47]. Общий регламент исполнения решений о финансировании ШННФ содержит информацию о возмещении расходов на предоставление открытого доступа к ИРП, если «...а) ИРП размещаются в признанных научных репозиториях, удовлетворяющих принципам FAIR и не преследующих коммерческие цели; б) расходы связаны с обработкой ИРП для размещения в репозиториях или непосредственно с размещением ИРП в репозиториях, соот-

**Таблица 1** Структура ПУД согласно рекомендациям ШННФ\*

1. Сбор данных и документация	1.1. Какие данные Вы будете собирать, изучать, генерировать или использовать повторно? Вопросы для рассмотрения: – Данные какого типа, формата и объема Вы будете собирать, изучать, генерировать или использовать повторно? – Какие существующие данные (Ваши или сторонние) Вы будете использовать повторно?	F2 <sup>1</sup> , I3, R1, R1.2
	1.2. Как будет организован сбор, изучение и генерация данных? Вопросы для рассмотрения: – Какие стандарты, методы или механизмы гарантии качества Вы будете использовать? – Каким образом Вы планируете формировать файлы проекта и управлять их различными версиями?	R1
	1.3. Какой документацией и какими метаданными Вы планируете сопроводить полученные данные? Вопросы для рассмотрения: – Какая информация необходима, чтобы пользователи (компьютер или человек) могли читать и интерпретировать данные впоследствии? – Каким образом Вы будете создавать эту документацию? – Какие стандарты, принятые в профессиональном сообществе, если таковые существуют, будут применяться для аннотации (мета)данных?	I1, I2, I3, R1.2, R1.3

*Продолжение табл. 1 на с. 138*

<sup>1</sup>О проблемах развития открытой науки см. подробнее [2, с. 261–353].

ветствующих требованиям пункта а» [4, ст. 2.13, п. 1]. На сайте ШННФ также доступна Декларация принципов свободного доступа к исследовательским данным [5]. Для воплощения этих принципов ШННФ отдает предпочтение подходу «снизу вверх»: отталкиваясь от основных требований фонда, каждое научное сообщество может с большой гибкостью определить свои стандарты соответствия правилам открытой науки. Главным отчетным документом при проведении исследований, как было отмечено во введении, служит план по управлению данными (ПУД), структуре которого посвящен разд. 3.

При подаче заявки на проект ШННФ, несмотря на необходимость включения ПУД в ее состав, оценка плана не производится, т. е. его содержание не влияет на решение фонда о присуждении гранта. Однако если заявка выигрывает конкурс, исполнители могут получить средства только тогда, когда фонд признает, что ПУД полностью отражает жизненный цикл ИРП и с точностью отвечает на все релевантные вопросы. По окончании проекта предусматривается сдача финальной версии плана, а в ходе проекта допускается его редактирование.

**Таблица 1** (продолжение) Структура ПУД согласно рекомендациям ШННФ\*

2. Этические и правовые вопросы. Вопросы безопасности	2.1. Затрагиваются и решаются ли этические вопросы? Вопросы для рассмотрения: – Какие стандарты защиты применяются к Вашим данным? Ограничены ли Вы в своих действиях положением о конфиденциальности? – Есть ли у Вас необходимые разрешения, чтобы получать, обрабатывать, хранить и предоставлять доступ к данным проекта? Уведомлены ли люди, чьи данные Вы используете повторно? Предоставили ли они свое согласие? – Какие методы Вы будете использовать, чтобы гарантировать безопасность личных или других конфиденциальных данных?	A1
	2.2. Как будет осуществляться доступ к данным и обеспечение их безопасности? Вопросы для рассмотрения: – Каковы ключевые вопросы безопасности данных, каковы уровни риска и какие меры были приняты для управления рисками, связанными с безопасностью данных? – Как вы будете регулировать право/разрешение на доступ к данным для обеспечения безопасности данных? – Как будут обрабатываться личные и другие конфиденциальные данные для обеспечения безопасного хранения и передачи данных?	A1
	2.3. Как Вы будете решать вопросы авторского права и интеллектуальной собственности? Вопросы для рассмотрения: – Кому будет принадлежать авторское право на данные? – Какие лицензии будут применяться к данным? – Какие ограничения применяются в отношении повторного использования данных, принадлежащих третьим лицам?	I3, R1.1

Окончание табл. 1 на с. 139

### 3 Структура плана по управлению данными

Для исследователей, подающих на гранты по конкурсам ШННФ, фонд предлагает шаблон ПУД, который представлен в табл. 1. Этот шаблон не является единственно верным способом составления ПУД, но упрощает работу ученых.

Некоторые исследовательские проекты не производят данные и не требуют их повторного использования. В этом случае заявителям не нужно полностью

**Таблица 1** (окончание) Структура ПУД согласно рекомендациям ШННФ\*

3. Накопление и сохранение данных	3.1. Как Вы будете хранить данные и осуществлять их резервное копирование во время исследования? Вопросы для рассмотрения: – Данные какого объема Вы имеете возможность хранить, и где эти данные будут храниться? – Какие предусмотрены процедуры резервного копирования?	—
	3.2. Каков Ваш план хранения данных? Вопросы для рассмотрения: – Какие процедуры будут использованы для отбора подлежащих хранению данных? – Файлы каких форматов будут использованы для хранения данных?	F2, R1.3
4. Обмен данными и их повторное использование	4.1. Как и где будут размещаться данные? Вопросы для рассмотрения: – В какой базе данных (репозитории) Вы планируете предоставить доступ к полученным данным? – Как потенциальные пользователи смогут найти информацию о Ваших данных?	F1, F3, F4, A1, A1.1, A1.2, A2
	4.2. Существуют ли какие-либо ограничения, необходимые для защиты конфиденциальных данных? Вопросы для рассмотрения: – При каких условиях данные будут доступны (дата публикации данных, причины задержки, если применимо)?	A1, R1.1
	4.3. Я подтверждаю, что выберу цифровые базы данных (репозитории), соответствующие принципам FAIR Data Principles. [ОТМЕТИТЬ ПОЛЕ ГАЛОЧКОЙ]	—
	4.4. Базы данных (репозитории), выбранные для размещения данных, управляются некоммерческой организацией. [ВЫБРАТЬ да/нет] В случае ответа «Нет» объясните, почему Вы не можете разместить свои данные в репозиториях, управляемых некоммерческой организацией	—

\*Перевод с французского осуществлен авторами статьи по [6].

<sup>1</sup>Соответствующие принципы FAIR (см. табл. 2).

заполнять форму ПУД. Тем не менее им необходимо указать, почему не планируется производить или повторно использовать данные в контексте предлагаемого исследования.

Определенные данные не могут быть размещены в репозитории, поскольку заявители связаны юридическими и/или этическими ограничениями, условиями конфиденциальности, авторскими правами. Тем не менее эти конкретные ограничения необходимо обосновать.

#### 4 Принципы «справедливого» доступа к данным

В табл. 2 переведен фрагмент пояснительного документа ШННФ о принципах «справедливого» доступа к данным на основе публикации [1]. В документе объясняется содержание принципов FAIR, обязательства, которые должен взять на себя исследователь для их выполнения, и требования к репозиториям, сформированные на основе каждого из этих принципов.

Ввиду ограниченного объема статьи в табл. 2 рассматриваются исключительно принципы FAIR. Требования к репозиториям приводятся в разд. 5, где они излагаются более кратко.

FAIR — это аббревиатура от английских слов Findable («обнаруживаемый»), Accessible («доступный»), Interoperable («совместимый»), Reusable («повторно/многократно используемый»). Данные, соответствующие всем этим требованиям, удовлетворяют принципам FAIR. Ниже объясняется, что подразумевается

**Таблица 2** Объяснение содержания принципов справедливого доступа к данным\*

<p>●F1. (Мета)данным присвоено уникальный и надежный идентификатор</p>	<p>Всем данным присваивается уникальный и надежный глобальный идентификатор, например DOI, ARK, RRID и т. д. Идентификаторы помогают находить, цитировать и отслеживать (мета)данные</p>
<p>●F2. Данные должны быть полно описаны с помощью метаданных (определяется через принцип R1)</p>	<p>Метаданные отражают, как были сгенерированы данные, на каких условиях (в зависимости от используемой лицензии) они могут быть (повторно) использованы. Метаданные обеспечивают необходимый контекст для правильной интерпретации. Необходимо, чтобы эта информация могла обрабатываться автоматически</p>
<p>●F3. Метаданные в четкой и недвусмысленной форме включают идентификатор подлежащих описанию данных</p>	<p>Метаданные и данные — различные файлы. Связь между файлом метаданных и данными однозначна благодаря упоминанию в метаданных уникального идентификатора данных</p>
<p>●F4. (Мета)данные зарегистрированы или проиндексированы в ресурсах с функцией поиска</p>	<p>Метаданные используются, чтобы формировать признаки, с помощью которых легко найти данные. Такие ресурсы позволяют искать существующие данные, как книгу в библиотеке</p>

*Продолжение табл. 2 на с. 141*

**Таблица 2** (продолжение) Объяснение содержания принципов справедливого доступа к данным\*

<p>●A1. (Мета)данные подлежат извлечению по идентификатору с помощью стандартизированных протоколов передачи данных</p>	<p>Если известен идентификатор данных и где они хранятся, можно получить доступ по меньшей мере к метаданным. Зная метаданные, пользователь имеет возможность получить доступ и к самим данным</p>
<p>●A1.1. Протокол должен быть открытым, бесплатным и не имеющим ограничений для повсеместного использования</p>	<p>Любой пользователь компьютера с подключением к сети Интернет может получить доступ как минимум к метаданным</p>
<p>●A1.2. Протокол должен включать процедуры аутентификации и авторизации, если это необходимо</p>	<p>Часто требования репозитория предполагают создание пользователем персонального аккаунта. Это позволяет идентифицировать владельца данных (или лицо, участвовавшее в их создании) и диверсифицировать права доступа к данным в зависимости от пользователя</p>
<p>●A2. Метаданные должны быть доступны, даже если сами данные уже недоступны</p>	<p>Всегда поддерживать данные в готовом к использованию состоянии потребовало бы большого объема работы (адаптация к новым стандартам форматов, конвертация в другой формат, если программное обеспечение, необходимое для работы с файлами старого формата, больше не поддерживается, и т. д.). Поддерживать доступ к метаданным значительно легче</p>

*Продолжение табл. 2 на с. 142*

под каждым из четырех основных требований, в то время как табл. 2 отражает все 15 принципов. Важно, чтобы принципы выполнялись не только в отношении пользователя-человека, который может воспользоваться ИРП того или иного проекта, но и в отношении (полу)автоматического взаимодействия компьютерных систем.

- F.** И человек, и компьютер должны легко находить данные и метаданные. Необходимы как минимум базовые подлежащие автоматическому поиску метаданные.
- A.** Данные и метаданные должны храниться в течение долгого времени после окончания проекта. К ним должен быть обеспечен доступ (возможность их сохранить или использовать локально) с помощью стандартизированных протоколов передачи данных.
- I.** Данные должны быть подготовлены для (полу)автоматического обмена, интерпретации и объединения с другими наборами данных.
- R.** Данные и метаданные достаточно хорошо описаны, чтобы их можно было повторно использовать в будущих исследованиях, интегрируя с другими

**Таблица 2** (продолжение) Объяснение содержания принципов справедливого доступа к данным\*

<p>●I1. (Мета)данные используют формальный, доступный, пространственный и широко применимый язык для представления знаний</p>	<p>Совместимость обычно означает, что каждая компьютерная система как минимум обладает знаниями о форматах файлов другой системы, которые задействованы при обмене данными. Если (мета)данные необходимо сделать доступными для поиска, а также обеспечить возможность сочетать данные совместимых источников (полу)автоматическим способом, компьютерные системы должны уметь определять, сопоставимо ли содержание разных наборов данных. Очевидные сложности возникают, если при описании данных используются разные языки или допускаются орфографические ошибки. Поэтому, чтобы обеспечить возможность поиска и совместимость наборов данных, важно использовать установленную лексику и выработать четкую систему для описания и структурирования (мета)данных</p>
<p>●I2. (Мета)данные описаны с помощью формализованной лексики, которая соответствует FAIR-принципам</p>	<p>Установленная лексика, которая используется для описания наборов данных, должна быть задокументирована. Необходимо, чтобы любой пользователь мог найти эту документацию и получить к ней доступ</p>
<p>●I3. (Мета)данные включают ссылки на другие (мета)данные</p>	<p>Если набор данных сформирован на основе других данных, если дополнительные данные необходимы, чтобы дополнить рассматриваемые данные или если дополнительная информация хранится в другом наборе данных, необходимо это указать. В частности, научная связь между наборами данных должна быть описана. Кроме того, все данные должны быть процитированы надлежащим образом (т. е. с использованием уникального идентификатора)</p>

*Окончание табл. 2 на с. 143*

совместимыми источниками данных. Метаданные должны содержать исчерпывающую информацию для цитирования, а условия, при которых могут использоваться данные, должны быть понятны для компьютера и человека.

Важно подчеркнуть, что принципы FAIR не требуют от ученых обмена всеми своими данными без исключения. Согласно этим принципам рекомендуется предоставлять открытый доступ к тем данным, которые необходимы для воспроизводимости исследования, чтобы люди и компьютерные системы могли легко находить, интерпретировать и использовать их в четко определенных условиях.

## 5 Требования к репозиториям

Репозитории должны удовлетворять принципам справедливого доступа к данным FAIR [7, 8], т. е. всем следующим требованиям:

**Таблица 2** (окончание) Объяснение содержания принципов справедливого доступа к данным\*

<p>●R1. (Мета)данные должны быть описаны достаточно полно, используя совокупность четких и релевантных признаков</p>	<p>Описание набора данных должно быть произведено на двух уровнях:                  (1) метаданные, описывающие набор данных (intrinsic — внутренние или встроенные): что содержит этот набор данных, как были сгенерированы данные, как они были обработаны, как они могут быть использованы в других исследованиях и т. д.;                  (2) метаданные, описывающие сами данные (определяются исследователем): любая информация, необходимая, чтобы использовать данные, например определения имен переменных</p>
<p>●R1.1. (Мета)данные выпущены с лицензией, однозначно определяющей возможности их использования</p>	<p>Условия, при которых данные могут быть использованы, должны быть доступны и понятны людям, а также подлежать обработке компьютером. Эту информацию необходимо указать в метаданных, описывающих набор данных</p>
<p>●R1.2. (Мета)данные содержат указания об их источниках</p>	<p>Детальная информация о происхождении данных необходима для их повторного использования: например, это позволит исследователям понять, как данные были сгенерированы, в каком контексте они могут быть повторно использованы, насколько они надежны. Отсутствие указания на источники данных в репозиториях является одной из основных проблем, препятствующих проверке данных</p>
<p>●R1.3. (Мета)данные соответствуют принятым в данной области стандартам</p>	<p>Легче повторно использовать те наборы данных, которые похожи: данные одного типа, данные, организованные стандартным образом, данные в принятых и надежных форматах, метаданные, в документации к которым используют общепринятые образцы и формализованную лексику. Если в профессиональном сообществе существуют стандарты архивирования данных и предоставления доступа к ним, необходимо следовать этим стандартам. Следует заметить, что вопрос качества не затрагивается принципами FAIR и определяется пользователями данных, исходя из предполагаемого применения конкретных данных</p>

\*Перевод с английского осуществлен авторами статьи по [7].

- всем наборам данных должны быть присвоены уникальные и надежные идентификаторы (в идеальном случае — каждому файлу из набора данных);
- репозиторий позволяет загрузить как внутренние (intrinsic) метаданные, так и метаданные, определяемые пользователем, который загружает ИРП;
- лицензия, определяющая условия доступа к ИРП, предлагается репозиторию, в противном случае пользователь может выбрать ее сам;
- метаданные всегда находятся в открытом доступе (даже если доступ к самим данным ограничен);

- при загрузке внутренних метаданных (см. принцип R1 в табл. 2) репозиторий требует заполнить форму передачи данных (чтобы обеспечить их автоматическое использование и проверку совместимости);
- репозиторий должен иметь долгосрочный план хранения данных.

Большинство репозиториев учитывается сайтом [re3data.org](http://re3data.org). Данный ресурс позволяет также определить, является ли репозиторий коммерческим. Как указано в правилах ШННФ (см. разд. 2), ИРП должны храниться в некоммерческих репозиториях. Работа репозитория может поддерживаться несколькими учреждениями, каждое из которых должно быть некоммерческим (на сайте [re3data.org](http://re3data.org): Type of institution: non-profit)<sup>1</sup>. Список приемлемых репозиториев не ограничивается представленными на данном сайте. Допускается использование других репозиториев, удовлетворяющих вышеуказанным требованиям.

## 6 Заключение и перспективы

В статье рассмотрен опыт ШННФ по организации жизненного цикла ИРП. Представлена рекомендованная ШННФ структура ПУД — основного документа, описывающего данные научного проекта, содержание принципов FAIR («справедливого» доступа к данным) и требования ШННФ к репозиториям.

Логичным продолжением работы может быть сравнение репозиториев, где хранятся данные по гуманитарным дисциплинам, в частности по лингвистике<sup>2</sup>. Такое сравнение целесообразно проводить на предмет соответствия принципам FAIR, например подобно тому, как это сделано в работе [9]. Такая работа может сопровождаться обзором метрик, позволяющих оценить степень открытости научных инструментов [10].

## 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. Антопольский А. Б., Ефременко Д. В. Инфосфера общественных наук в России / Под ред. В. А. Цветковой. — Москва–Берлин: Директ-Медиа, 2017. 677 с.
3. Règlement des subsides // Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique, 2016. 16 p. [http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/allg\\_reglement\\_16\\_f.pdf](http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/allg_reglement_16_f.pdf).
4. Règlement d'exécution général relatif au règlement des subsides. Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique, 2019. 77 p. <http://www.snf.ch/>

---

<sup>1</sup>Или же в случае, если какое-либо учреждение является коммерческим, но осуществляет только финансирование репозитория, данный репозиторий может считаться некоммерческим (на сайте [re3data.org](http://re3data.org): Type of institution: commercial, Type of responsibility: funding, sponsoring).

<sup>2</sup>Отдел 54 ИПИ ФИЦ ИУ РАН имеет опыт работы по грантам научных фондов в области лингвистики, в том числе частично финансируемым ШННФ.



- SiteCollectionDocuments/fns-reglement\_execution\_general\_relatif\_au\_reglement\_subsidies\_ f.pdf.
5. Déclaration de principe du FNS sur le libre accès aux données de la recherche (Open Research Data). [http://www.snf.ch/en/theSNSF/research-policies/open\\_research\\_data/Pages/default.aspx#](http://www.snf.ch/en/theSNSF/research-policies/open_research_data/Pages/default.aspx#).
  6. Data Management Plan — contenu du formulaire mySNF. Fonds National de la Recherche Scientifique, 2017. 4 p. [http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/DMP\\_content\\_mySNF-form\\_fr.pdf](http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/DMP_content_mySNF-form_fr.pdf).
  7. Explanation of the FAIR data principles. Swiss National Science Foundation. 4 p. [http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/FAIR\\_principles\\_translation\\_SNSF\\_logo.pdf](http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/FAIR_principles_translation_SNSF_logo.pdf).
  8. 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).
  9. *Dunning A., de Smaele M., Böhrer J.* Are the FAIR Data Principles fair? // *Int. J. Digital Curation*, 2017. Vol. 12. Iss. 2. P. 177–195.
  10. *Wilkinson M., Sansone S., Schultes E., et al.* A design framework and exemplar metrics for FAIRness // *Scientific Data*, 2018. Vol. 5. Art. No. 180118. doi: 10.1038/sdata.2018.118.

*Поступила в редакцию 30.01.20*

---

## DATA LIFE CYCLE PLANNING IN THE (POST)GRANT PERIOD

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

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 article discusses the experience of the Swiss National Science Foundation (SNSF) in organizing data life cycle in the (post)grant period. In particular, excerpts from legal documents, a structure of a data management plan recommended by SNSF, and explanation of FAIR Data Principles are presented. Also, the requirements of SNSF to repositories suitable for hosting data are considered. The article allows one to get an initial idea of the data life cycle planning in the (post)grant period according to the requirements of a number of scientific institutions and can serve as a practical guide for researchers who face the issues of data life cycle planning for the first time.

**Keywords:** data management plan; data life cycle; data storage and preservation; digital repositories; FAIR data principles; metadata standardization

**DOI:** 10.14357/08696527200112

## 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. Antopol'sky, A. B., and D. V. Efremenkov. 2017. *Infosfera obshchestvennykh nauk v Rossii* [Infosphere of social sciences in Russia]. Moscow–Berlin: Direkt–Media. 677 p.
3. Règlement des subsides. 2016. Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique. 16 p. Available at: [http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/allg\\_reglement\\_16\\_f.pdf](http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/allg_reglement_16_f.pdf) (accessed December 10, 2019).
4. Règlement d'exécution général relatif au règlement des subsides. 2019. Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique. 77 p. Available at: [http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/fns-reglement\\_execution\\_general\\_relatif\\_au\\_reglement\\_subsidies\\_f.pdf](http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/fns-reglement_execution_general_relatif_au_reglement_subsidies_f.pdf) (accessed December 20, 2019).
5. Déclaration de principe du FNS sur le libre accès aux données de la recherche (Open Research Data). Available at: [http://www.snf.ch/en/theSNSF/research-policies/open\\_research\\_data/Pages/default.aspx#](http://www.snf.ch/en/theSNSF/research-policies/open_research_data/Pages/default.aspx#) (accessed December 20, 2019).
6. Data Management Plan — contenu du formulaire mySNF. Fonds National de la Recherche Scientifique. 4 p. Available at: [http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/DMP\\_content\\_mySNF-form\\_fr.pdf](http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/DMP_content_mySNF-form_fr.pdf) (accessed December 20, 2019).
7. Swiss National Science Foundation. 2017. Explanation of the FAIR data principles. Available at: [http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/FAIR\\_principles\\_translation\\_SNSF\\_logo.pdf](http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/FAIR_principles_translation_SNSF_logo.pdf) (accessed December 20, 2019).
8. Examples of data repositories. Swiss National Science Foundation. Available at: [http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/FAIR\\_data\\_repositories\\_examples.pdf](http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/FAIR_data_repositories_examples.pdf) (accessed December 20, 2019).
9. Dunning, A., M. de Smaele, and J. Böhmer. 2017. Are the FAIR data principles fair? *Int. J. Digital Curation* 12(2):177–195.
10. Wilkinson, M., S. Sansone, E. Schultes, *et al.* 2018. A design framework and exemplar metrics for FAIRness. *Scientific Data* 5:180118.

Received January 30, 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

## СТРУКТУРА И ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ В КОНТЕКСТЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕМПОРАЛЬНОЙ БАЗЫ ГЕОДАнных

*Д. А. Никишин*

**Аннотация:** Представлены принципы построения темпоральной базы геоданных (ТБГД) и ее особенности. Рассмотрена сущность множественного представления геообъектов в аспекте генерализации и в темпоральном аспекте, выделена типология связей, имеющих место в структуре множественных представлений геообъектов в ТБГД, выделены ограничения целостности структуры этих связей. Рассматриваются особенности механизма генерализации в контексте функционирования ТБГД, представлено явление изменения методологии и критериев генерализации во времени в качестве еще одного вида информационной трансформации.

**Ключевые слова:** геоданные; информационные трансформации; множественное представление геоданных; многоуровневая генерализация; темпоральный аспект геоданных; темпоральная база геоданных; вариация структуры генерализации во времени

**DOI:** 10.14357/08696527200113

### 1 Введение

Эта работа является продолжением исследований по тематике информационных трансформаций, описывающих конкретно-абстрактные и абстрактно-конкретные преобразования геоданных в интегрированных информационных системах в контексте парадигмы полиадического компьютеринга [1–3].

Общая задача текущего этапа этих исследований — построение и анализ концепции структуры *базы геоданных* (БГД), основанной на *множественных представлениях геообъектов*, с целью выявления возможностей развития моделей и методов геоинформатики и создания на этой основе перспективных БГД нового поколения.

В основе концепции лежит выделение известных аспектов представления геоданных: *генерализируемости, вариантности и альтернативности*, — а также поддержка *темпорального* аспекта, отвечающего за моделирование динамики развития ситуации. От такой многоаспектной БГД ожидаются определенные преимущества по сравнению с организацией данных в традиционных БГД.

---

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

Вопрос многоуровневой и вообще мультимасштабной генерализации уже достаточно долго является предметом активных исследований (см., например, [4–6], а также работы [7–9] автора статьи). Аспекты вариантности и альтернативности данных сами по себе не новы (см., например, [10]), но их применение к БГД включает в себе элемент новизны. Темпоральный аспект предлагается в качестве обобщения, куда в качестве одной из компонент входит пространственно-временной аспект, который представляется актуальным направлением развития геоинформационных систем (ГИС) [11–13].

Цель данной публикации — анализ структуры и особенностей концепции ТБГД. С этой целью в работе рассматривается сущность и типология *множественного представления геообъектов*, а также аспект *генерализации и темпоральный* аспект. Аспекты вариантности и альтернативности предполагается рассмотреть в последующих публикациях.

## 2 Множественное представление геообъектов

Под *множественностью представлений* геообъекта (объекта, выделяемого на местности) будем понимать соответствие ему множества версий моделирующих его данных. Каждое отдельное *представление* (англ. representation) есть совокупность данных (значений свойств), описывающих этот геообъект в семантическом, метрическом и других аспектах [7–9].

Можно выделить следующие достаточно очевидные аспекты множественности представлений, соответствующие:

- различным уровням генерализации (масштабным уровням);
- различным моментам времени (временным срезам);
- различным вариантам описания геообъекта в определенных тематических ракурсах, соответствующих тем или иным специфическим задачам использования данных о нем;
- различным альтернативным наборам данных о местности.

Таким образом, можно отметить, что многообразие представлений геообъекта не является исключительной прерогативой генерализации. Подходы к типологии множественного представления геообъектов частично были представлены в [7]. Свойство вариантности было рассмотрено в [8], а *структура генерализации* геоданных — в [9].

Множественное представление геообъектов выступает в качестве основы, объединяющей представленные выше аспекты концепции перспективной БГД.

## 3 Аспект генерализации в базе геоданных

Генерализация в БГД предполагает наличие нескольких уровней представления данных о геообъектах, которые отличаются между собой степенью обобще-

ния (генерализации), или же, от противного, степенью подробности, детальности данных. Далее для обозначения такого уровня используется конвенциональный термин — уровень детализации (*англ.* Level of Details, LoD) [4–6].

Структура уровней детализации данных БГД в историческом ракурсе может рассматриваться как аналогия масштабного ряда карт, однако ее использование в таком виде сильно ограничено. При отсутствии в БГД генерализационных связей происходит изоляция масштабных уровней между собой — преемственность данных одного и того же геообъекта на разных уровнях может лишь косвенно предполагаться на основе совпадения пространственной локализации.

Для расширения функциональности такой БГД необходимо применение принципа *генерализационной связности* — наличия явно определенных связей между представлениями геообъектов, соответствующих смежным LoD. Иерархическая структура «пирамиды» генерализации и типология связей в ней рассматривались в работе [9].

В контексте перспективной БГД концептуальное применение генерализационной связности может служить решению проблемы автоматической каскадной генерализации — в этом случае достаточно будет осуществить контролируемую генерализацию только один раз — для вновь появившихся объектов, а изменения существующих объектов, вносимые на нижнем уровне, должны автоматически распространяться на вышестоящие уровни генерализации.

Еще одним важным требованием для расширения функциональности БГД является обеспечение обратимости генерализации [7], сущность которой заключается в обеспечении двунаправленных взаимосвязей между представлениями геообъекта на смежных LoD. Такие взаимосвязи, обеспечивая прямое обращение к представлениям геообъекта на разных LoD, потенциально позволят усовершенствовать функции *визуализации* обстановки и осуществления *многоуровневого поиска и анализа* данных в БГД, в частности проводить автоматическую генерализацию и детализацию ситуации непосредственно в реальном времени, верификацию структуры и содержания (данных) БГД.

В качестве резюме можно отметить, что аспект генерализации в БГД включает следующие принципы, расположенные в порядке увеличения полноты функциональности: уровни генерализации данных в БГД, наличие генерализационных связей между этими уровнями, а также обеспечение обратимости этих связей.

#### **4 Темпоральный аспект представления данных в базе геоданных**

В качестве перспективного направления развития функциональности БГД предполагается использование *временной* составляющей, позволяющей регистрировать динамику изменения свойств геообъектов и таким образом моделировать явления и процессы, протекающие на местности. Отличительной стороной такой БГД является сохранение истории произошедших изменений свойств (семантики, метрики) геообъектов и, соответственно, возможность восстанавливать значения этих свойств на определенный момент времени.

Необходимо отметить, что изменения свойств геообъекта во времени могут происходить в следующих аспектах:

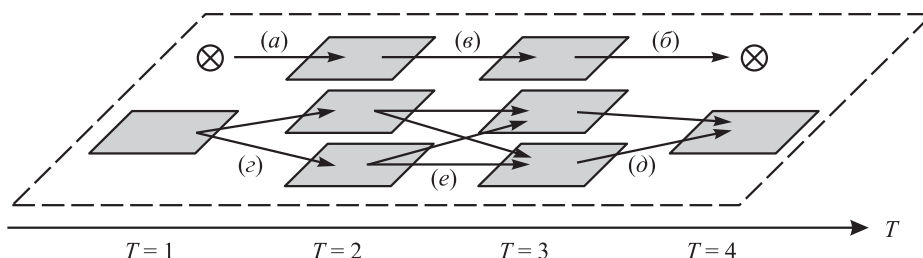
- вариации *пространственной* локализации геообъекта (собственно пространственно-временной аспект);
- вариации во времени *семантических* свойств геообъекта (его условно можно охарактеризовать как «семантически-временной» аспект).

В связи с этим в качестве обобщения данных аспектов применительно к БГД предлагается термин «*темпоральный*» (англ. temporality) аспект, который включает в качестве компонент как пространственно-временной аспект, так и вариации семантических свойств геообъектов. Термин «темпоральность» используется как синоним временных отношений в контексте информационных трансформаций данных [14–16].

Характерными прикладными задачами для применения ТБГД могут быть задачи анализа динамики и прогнозирования изменений в природной среде [17], в том числе прогнозирование современной тектонической активности, эрозийных процессов, деградации растительности, климатических и метеорологических явлений и т. п.

Для описания динамики значений свойства возможны два основных способа: как функции значения свойства от времени и как временного ряда — последовательности значений свойств геообъекта (в виде исторической версии его данных), регистрируемых через определенные промежутки времени (в моменты актуализации (англ. Moment of Actualization, MoA) данных в БГД). Первый подход представляет собой достаточно сложную, специфическую задачу и пока не рассматривается, поэтому далее речь идет только о втором, более простом, хотя и менее точном способе.

Можно выделить следующие категории темпоральных связей представлений геообъектов, относящиеся к смежным моментам времени  $T_i$ , проиллюстрированные на рис. 1. Нужно отметить, что представленная на этом рисунке структура связей имеет двойственное значение — она применима как к собственно данным



**Рис. 1** Виды темпоральных связей в БГД и в геоонтологии

БГД, так и к используемой ею концептуальной схеме<sup>1</sup>. В первом случае речь идет о взаимосвязях между разномоментными представлениями геообъектов в БГД; второй случай описывает ситуации появления, исчезновения и преобразования классов геообъектов, что можно охарактеризовать как процесс развития концептуальной схемы БГД во времени. Ниже эти случаи рассмотрены параллельно для каждого типа связи:

- (а) случай вида « $0 : 1$ » описывает возникновение нового геообъекта или введение нового класса геообъектов, например: вновь возведенное или выявленное строение, появление нового типа строений;
- (б) случай вида « $1 : 0$ » представляет исчезновение геообъекта, прекращение им своего существования, например: вырубку лесного массива, высыхание озера и т. п., а также исключение из концептуальной схемы устаревшего класса (ввиду полного исчезновения соответствующих ему геообъектов);
- (в) связь вида « $1 : 1$ » определяет тривиальную преемственность представлений геообъекта или же классов в смежные моменты времени  $T_i$  и  $T_{i+1}$ ;
- (г) связь вида « $1 : N$ » описывает случай, когда происходит разделение исходного геообъекта или класса на несколько самостоятельных сущностей; в первом случае с обеих сторон имеют место объекты одного класса, например разделение лесного массива на несколько изолированных частей; во втором случае разделение приводит к изменению класса объектов, например превращение реки (в результате высыхания) в цепочку изолированных озер;
- (д) связь вида « $M : 1$ » соответствует случаю, когда происходит слияние нескольких исходных геообъектов или классов в единую сущность, примерами могут служить процессы, обратные случаю (г);
- (е) связь вида « $M : N$ » описывает сложное преобразование (перераспределение) двух множеств объектов или классов; данный случай может быть представлен как комбинация представленных выше более простых случаев.

Надо отметить, что в контексте описания динамики ситуации посредством временного ряда состояний в случае отсутствия изменений геообъектов их представления в смежные моменты времени будут идентичны между собой, что приводит к непроизводительной избыточности данных, хранимых в БГД. Во избежание этого такой способ реализации темпорального аспекта в БГД целесообразно использовать для ограниченного круга постоянно изменяющихся геообъектов, т. е. мониторинга отдельных видов объектов (в том числе движущихся) на фоне базового статичного набора данных, а моменты сплошной актуализации информации о местности могут производиться достаточно редко (например, с периодичностью планового обновления топографической карты — раз в 5–10 лет).

---

<sup>1</sup> Концептуальная схема здесь понимается как система взаимосвязанных понятий, необходимая и достаточная для описания требуемого аспекта объекта, включающая модели данных (классы геообъектов), сопряженные с ними ограничения и методы их обработки.

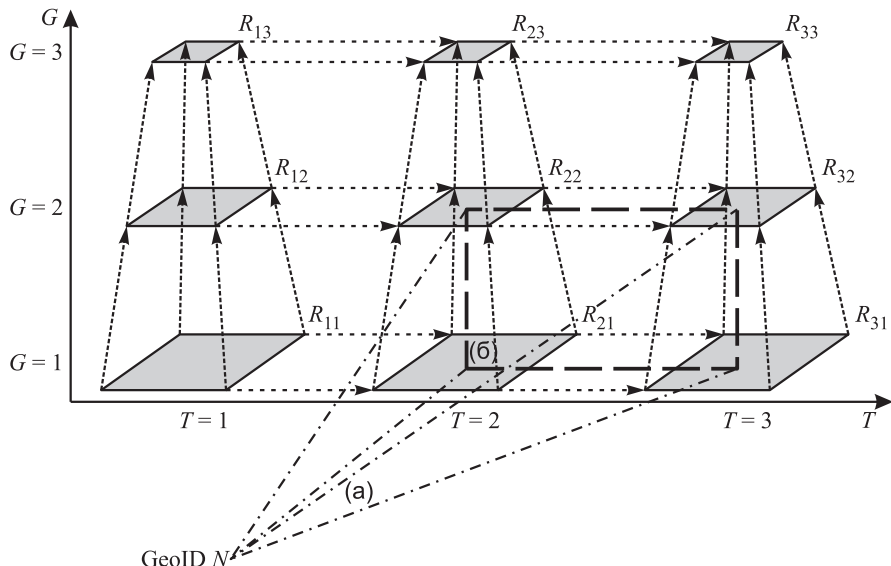
## 5 Структура связей в темпоральной базе геоданных

Рассмотрим более подробно структуру и особенности функционирования ТБГД.

Логическая структура множественного представления набора геоданных в плоскости, образуемой аспектом генерализации ( $G$ ) и темпоральным аспектом ( $T$ ) показана на рис. 2.

Все изображенные на рис. 2 площадки  $R_{ij}$  являют собой версии представления одного и тот же набора геоданных в аспектах  $G$  и  $T$  (т. е. в плоскости  $GT$ ). Представления соответствуют узлам регулярной сетки, образованной пересечением позиций  $G_i$ , которые являются LoD, и позиций  $T_i$ , являющихся последовательностью моментов времени (временных срезов), в которые выполняется актуализация содержания БГД. Для этих моментов времени по аналогии с LoD можно предложить термин «*момент актуализации*».

В качестве объединяющей основы множества представлений геообъекта выступает его уникальный идентификатор GeoID, к которому приурочены связи со всеми имеющимися представлениями этого геообъекта в различных МоА и LoD, при этом каждой паре МоА и LoD может соответствовать только одно представление. Уникальные идентификаторы организуются в виде реестра, единого для всей ТБГД. Каждое представление геообъекта, в свою очередь, имеет обратную



**Рис. 2** Структура множественного представления набора геоданных в плоскости  $GT$  (генерализационного и темпорального аспектов)



связь с соответствующим идентификатором, а также взаимосвязи со смежными представлениями в аспекте  $G$  (с более детальным и более обобщенным LoD) и в аспекте  $T$  (с предыдущим и последующим MoA). Такая конфигурация взаимосвязей в ТБГД обеспечивает возможность выбора необходимого геообъекта по его идентификатору, требуемого представления этого геообъекта по определенным параметрам  $G$  и  $T$ , а также непосредственного перехода от текущего представления к смежным в аспектах  $G$  и  $T$ .

Совокупность связей в такой ТБГД должна образовывать целостную структуру. Имеют место два контура целостности, показанные на рис. 2: треугольник связей (а), образованный идентификатором геообъекта и парой представлений (показаны штрихпунктиром), а также четырехугольник (б), образованный парами смежных представлений в аспектах  $G$  и  $T$  (показаны крупными жирными штрихами). Соответственно, в контексте ТБГД требуется обеспечить методологию и функциональность поддержания этой согласованности: ее анализа (в том числе верификации) и восстановления. Возникающая в такой структуре избыточность описания взаимосвязей позволяет анализировать и восстанавливать целостность структуры связей, а также осуществлять непосредственный переход между смежными представлениями при решении ряда прикладных задач (интерактивная генерализация и поиск, анализ динамики и др.).

Для реализации основной функциональности ТБГД необходимо обеспечение процедур каскадной генерализации, фильтрации, преобразования типов значений метрических и семантических свойств.

Представленная концепция, основанная на регулярной сети уровней LoD и моментов MoA, представляет собой значительное упрощение, проведенное с целью исследования перспектив концепции многоаспектной БГД.

В общем случае число уровней генерализации и периодичность MoA для каждого отдельного класса геообъектов и даже для каждого конкретного геообъекта могут быть различными, а не распространяться на всю концептуальную схему или БГД. Например, в [4, 5] описан случай решения задачи мультимасштабной визуализации геоданных, когда уровни детализации отдельных элементов содержания (слоев) и даже отдельных классов могут *не совпадать* — так, для контурной части может использоваться меньшее число LoD-ов, чем для рельефа. Также практическим примером такого подхода в традиционной картографии может служить разделение классов геообъектов по слоям элементов содержания (рельеф, гидрография и др.).

## 6 Особенности генерализации в темпоральной базе геоданных

Генерализация в БГД *традиционной структуры* заключается в последовательном применении предопределенной<sup>1</sup> методологии и критериев генерализации

---

<sup>1</sup>При этом в целях автоматизации процесса генерализации и обеспечения генерализационной связности должно выдвигаться требование, что методология и критерии генерализации определены однозначно и не предполагают субъективизма в процессе генерализации.

к детальному набору геоданных и формированию в результате набора данных более высокой степени обобщения до самого верхнего LoD.

Процедуру генерализации необходимо повторять каждый раз, когда обновляются данные БГД, но при этом предполагается, что актуализация данных БГД должна осуществляться не в реальном масштабе времени, а выполняться в отдельные моменты времени — МоА. Примером такой практики служит процесс генерации масштабного ряда топографических карт [9].

Соответственно, в разные МоА данных могут использоваться различные методы, критерии и алгоритмы выполнения генерализации. Это обстоятельство применительно к ТБГД обуславливает явление *изменения результатов генерализации во времени*, что сказывается в контексте анализа динамики ситуации на LoD верхнего уровня<sup>1</sup>. Это явление может иметь место в процессе:

- (а) актуализации данных БГД: при возникновении или исчезновении отдельных геообъектов, а также при изменении значений тех свойств, которые влияют на участие объектов в критериях генерализационного отбора (т. е. включение этого объекта в структуру генерализации). В результате на место этих объектов в структуре генерализации приходят либо вновь возникшие объекты, либо те, которые были до этого менее важными, но приобрели значимость за счет изменения значений соответствующих свойств или исключения ранее существовавших объектов;
- (б) модификации методологии генерализации (внесения изменений в критерии отбора и/или в методы генерализации). В результате также меняются условия использования определенных классов объектов и отдельных геообъектов в структуре генерализации, не связанные с изменениями содержимого самой БГД;
- (в) модификации концептуальной схемы БГД, заключающейся в исключении существовавших и добавлении новых классов геообъектов, что влечет за собой соответствующие изменения в структуре генерализации.

Модификации концептуальной схемы БГД или методологии генерализации могут быть обусловлены изменениями с течением времени соотношений в видовом разнообразии геообъектов и/или адаптацией БГД к решению определенных практических задач.

Вследствие всех этих факторов при анализе генерализированных представлений БГД во временной ретроспективе может возникнуть ложное «исчезновение» или «возникновение» определенных геообъектов (возможно даже их многократное «мерцание»), вызванное тем, что, несмотря на непрерывное присутствие этих объектов на детальных уровнях БГД, по тем или иным причинам в некоторые МоА они не участвовали в генерализации.

---

<sup>1</sup> Некоторые из представленных особенностей, отнесенные автором к специфике функционирования ТБГД, такие как изменение свойств (в том числе важности) объектов и явлений во времени, проблематика взаимной согласованности геообъектов во времени, были почерпнуты в работе [18].

Примером может служить анализ геообъектов, у которых динамика процессов естественного видоизменения коррелирует с периодичностью актуализации БГД. В этом контексте различия в результатах генерализации могут имитировать процессы пересыхания малых рек, озер, заболоченностей; таяние снежников и наледей; исчезновение участков кустарниковой и травянистой растительности и др. Это может стать существенным фактором при решении прикладных задач, где такие малые объекты являются важным фактором (прогнозирование паводков, падение уровня грунтовых вод, оценка последствий мелиорации и т. п.).

Наличие темпоральных связей в БГД позволяет если не исключить, то по крайней мере контролировать проблему ложного исчезновения и/или появления геообъекта в контексте генерализации. Так, присутствие связи между представлениями геообъекта свидетельствует о непрерывности его существования независимо от конъюнктурных особенностей выполнения генерализации. Отсутствие такой связи означает, что речь идет о двух разных геообъектах, даже если их смежные по времени представления схожи по своим свойствам.

В связи со сказанным следует отметить необходимость выработать формальный подход к процедурам генерализации, позволяющий исключить субъективный фактор и полностью их автоматизировать. При этом должна обеспечиваться возможность модернизации структуры генерализации и концептуальной схемы БГД по мере развития географического знания и изменения круга практических задач, решаемых на основе такой БГД.

## 7 Заключение

Задачей данной публикации ставился анализ структуры и особенностей концепции ТБГД. С этой целью в работе рассмотрена сущность *множественного представления геообъектов*, аспект генерализации и темпоральный аспект. Аспект генерализации в БГД в порядке расширения ее функциональности включает в себя принципы многоуровневости, генерализационной связанности между уровнями, а также обратимости этих связей. В качестве обобщения пространственно-временного аспекта геоданных и аспекта вариации семантических свойств данных применительно к БГД предложен термин *темпоральный аспект*.

Совокупность связей в ТБГД должна образовывать целостную структуру, для этого требуется обеспечить методологию поддержания этой целостности. В интересах основной функциональности ТБГД необходимо обеспечение процедур каскадной генерализации, фильтрации, преобразования типов свойств.

Особенностью генерализации в ТБГД является возможность *изменения методологии генерализации*, ее критериев и алгоритмов с течением времени, приводящая к различиям на верхних уровнях генерализации. Наличие темпоральных связей в БГД позволяет если не исключить, то по крайней мере контролировать феномен исчезновения и появления геообъектов в контексте генерализации, обусловленный корреляцией динамики процессов естественного видоизменения геообъектов с периодичностью актуализации данных в БГД.

Представленные особенности концепции ТБГД могут быть полезны, например, при создании новых методов информационного поиска, генерализации, анализа, визуализации и других задач использования геоданных и в конечном итоге способствовать развитию технологий геообработки в ГИС.

## Литература

1. *Rosenbloom P. S.* On computing: The fourth great scientific domain. — Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2013. 307 p.
2. *Зацман И. М.* Методология обратимой генерализации в контексте классификации информационных трансформаций // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 2. С. 128–144.
3. *Гончаров А. А., Зацман И. М.* Информационные трансформации параллельных текстов в задачах извлечения знаний // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 1. С. 180–193.
4. *Лурье И. Г., Самсонов Т. Е.* Структура и содержание базы пространственных данных для мультимасштабного картографирования // Геодезия и картография, 2010. № 11. С. 17–23.
5. *Самсонов Т. Е.* Мультимасштабное картографирование рельефа. Общегеографические и гипсометрические карты. — LAP Lambert Academic Publishing, 2011. 208 с.
6. *Самсонов Т. Е.* Мультимасштабное картографирование — новое направление картографии // Современная географическая картография. — М.: ДАТА+, 2012. С. 21–35.
7. *Никишин Д. А.* Сопоставление особенностей представления геоданных в картографии и геоинформатике // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 2. С. 60–74.
8. *Никишин Д. А.* Процессы генерализации в аналоговой и цифровой картографии // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 3. С. 204–216.
9. *Никишин Д. А.* Виды неоднородностей в структуре генерализации геоданных // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 1. С. 74–85.
10. *Codd E. F.* Extending the database relational model to capture more meaning // ACM T. Database Syst., 1979. Vol. 4. Iss. 4. P. 395–434.
11. *Das M., Ghosh S. K.* Modeling spatio-temporal change pattern using mathematical morphology // 3rd IKDD Conference on Data Science Proceedings. — New York, NY, USA: ACM, 2016. Art. No. 4. 10 p. doi: 10.1145/2888451.2888458.
12. *Atluri G., Karpatne A., Kumar V.* Spatio-temporal data mining: A survey of problems and methods // ACM Comput. Surv., 2018. Vol. 51. Iss. 4. Art. No. 83. 41 p.
13. *Qing Wang, Weifeng Lv., Bowen Du.* Spatio-temporal anomaly detection in traffic data // 2nd Symposium (International) on Computer Science and Intelligent Control Proceedings. — New York, NY, USA: ACM, 2018. Art. No. 46. 5 p. doi: 10.1145/3284557.3284725.
14. *Dawson P., Sykes C.* Organizational change and temporality: Bending the arrow of time. — New York, NY, USA: Routledge, 2016. 254 p.

15. *Siabato W., Claramunt C., Harri S., Manso-Callejo M. A.* A survey of modelling trends in temporal GIS // *ACM Comput. Surv.*, 2018. Vol.51. Iss. 2. Art. No. 30. 41 p. doi: 10.1145/3141772.
16. *Гончаров А. А., Зацман И. М., Кружков М. Г.* Темпоральные данные в лексико-графических базах знаний // *Информатика и её применения*, 2019. Т. 13. Вып. 4. С. 90–96.
17. *Бугаевский Л. М., Цветков В. Я.* Геоинформационные системы. — М.: Златоуст, 2000. 222 с.
18. *Лисицкий Д. В., Комисарова Е. В., Колесников А. А., Шарыпова М. Н.* Оценка направлений и тенденций развития современной картографии // *Геодезия и картография*, 2015. № 11. С. 59–64.

*Поступила в редакцию 06.02.20*

---

---

## STRUCTURE AND FEATURES OF GENERALIZATION IN THE CONTEXT OF FUNCTIONING OF A TEMPORAL GEODATABASE

*D. A. Nikishin*

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 principles of constructing a temporal geodatabase and its features are presented. The essence of the multiple representations of geoobjects in the aspect of generalization and in the temporal aspect is considered, the typology of the relationships that occur in the structure of the multiple representations of geoobjects in the temporal geodatabase is highlighted, and the integrity constraints of the structure of these relationships are highlighted. The features of the generalization mechanism in the context of the functioning of the temporal geodatabase are considered, the phenomenon of changing the methodology and generalization criteria in time as another type of information transformation is presented.

**Keywords:** geodata; information transformations; multiple representation of geodata; multilevel generalization; temporal aspect of geodata; temporal geodatabase; variation of the generalization structure over time

**DOI:** 10.14357/08696527200113

### References

1. Rosenbloom, P. S. 2013. *On computing: The fourth great scientific domain*. Cambridge, MA: MIT Press. 307 p.

2. Zatsman, I. M. 2018. Metodologiya obratimoy generalizatsii v kontekste klassifikatsii informatsionnykh transformatsiy [Methodology of reversible generalization in the context of classification of information transformations]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 28(2):128–144.
3. Goncharov, A. A., and I. M. Zatsman. 2019. Informatsionnye transformatsii parallel'nykh tekstov v zadachakh izvlecheniya znaniy [Information transformations of parallel texts in problems of knowledge extraction]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(1):180–193.
4. Lurie, I. G., and T. E. Samsonov. 2010. Struktura i sodержanie bazy prostranstvennykh dannykh dlya mul'timasshtabnogo kartografirovaniya [Structure and content of spatial data base for multi-dimensional mapping]. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and Cartography] 11:17–23.
5. Samsonov, T. E. 2011. *Mul'timasshtabnoe kartografirovanie rel'efa. Obshchegeograficheskie i gipsometricheskie karty* [A multiscale terrain mapping. General geographic and hypsometric maps]. LAP LAMBERT Academic Publishing. 208 p.
6. Samsonov, T. E. 2012. Mul'timasshtabnoe kartografirovanie — novoe napravlenie kartografii [Multiscale mapping— a new direction of cartography]. *Sovremennaya geograficheskaya kartografiya* [Modern geographical cartography]. Moscow: DATA+. 21–35.
7. Nikishin, D. A. 2018. Sopostavlenie osobennostey predstavleniya geodannykh v kartografii i geoinformatike [Comparison of characteristics of the representation of geodata in cartography and geoinformatics]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 28(2):60–74.
8. Nikishin, D. A. 2018. Protsessy generalizatsii v analogovoy i tsifrovoy kartografii [A generalization processes in analog and digital cartography]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 28(3):204–216.
9. Nikishin, D. A. 2019. Vidy neodnorodnostey v strukture generalizatsii geodannykh [Types of inhomogeneities in the structure of geodata generalization]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(1):74–85.
10. Codd, E. F. 1979. Extending the database relational model to capture more meaning. *ACM T. Database Syst.* 4(4):395–434.
11. Das, M., and S. K. Ghosh. 2016. Modeling spatio-temporal change pattern using mathematical morphology. *3rd IKDD Conference on Data Science Proceedings*. ACM. Art. No. 4. 10 p. doi: 10.1145/2888451.2888458.
12. Atluri, G., A. Karpatne, and V. Kumar. 2018. Spatio-temporal data mining: A survey of problems and methods. *ACM Comput. Surv.* 51(4):83. 41 p.
13. Qing, W., Lv. Weifeng, and Du. Bowen. 2018. Spatio-temporal anomaly detection in traffic data. *2nd Symposium (International) on Computer Science and Intelligent Control Proceedings*. ACM. Art. No. 46. 5 p. doi: 10.1145/3284557.3284725.
14. Dawson, P., and C. Sykes. 2016. *Organizational change and temporality: Bending the arrow of time*. New York, NY: Routledge. 254 p.
15. Siabato, W., C. Claramunt, S. Ilarri, and M. A. Manso-Callejo. 2018. A survey of modelling trends in temporal GIS. *ACM Comput. Surv.* 51(2):30. 41 p. doi: 10.1145/3141772.
16. Goncharov, A. A., I. M. Zatsman, and M. G. Kruzhkov. 2019. Temporal'nye dannye v leksikograficheskikh bazakh znaniy [Temporal data in lexicographic knowledge bases]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 13(4):90–96.

17. Bugaevskiy, L. M., and V. Ya. Tsvetkov. 2000. *Geoinformatsionnye sistemy* [Geoinformation systems]. Moscow: Zlatoust. 222 p.
18. Lisitsky, D. V., E. V. Komissarova, A. A. Kolesnikov, and M. N. Sharypova. 2015. Temporal'nye dannye v leksikograficheskikh bazakh znaniy [Estimation of directions and trends of development of modern cartography]. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and Cartography] 11:59–64.

*Received February 6, 2020*

## **Contributor**

**Nikishin Dmitry A.** (b. 1976)— 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 119333, Russian Federation; dmnikishin@mail.ru

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ КОНКРЕТНО-ИСТОРИЧЕСКИХ ФАКТОВ

*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 этой технологии за счет интеграции в нее механизма автоматизированной оценки достоверности обрабатываемой 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 (ИБФ). Проведена классификация видов конкретно-исторической информации, для которых имеет смысл параметр достоверности. Приведено подробное описание механизма, определены процедуры автоматического формирования оценок достоверности информации. Намечены пути оценки эффективности описанного механизма. Предложен количественный показатель эффективности. Обосновано применение методов моделирования для его определения.

**Ключевые слова:** конкретно-историческое исследование; распределенная технология; достоверность информации; историко-биографический факт; автоматизированная процедура

**DOI:** 10.14357/08696527200114

### 1 Введение

В любой форме аналитической деятельности, к которой, безусловно, относится и научное исследование, крайне важна оценка достоверности обрабатываемой информации [1]. Прилагаются значительные усилия по решению этой проблемы, особенно применительно к информации, найденной в сети Интернет. Развивается методология оценки достоверности информации [2, 3], разрабатываются способы ее автоматизации [4, 5].

Но все эти меры плохо применимы к задачам конкретно-исторического исследования. Это объясняется спецификой ИБФ. Если в других областях научного

---

<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



познания под достоверностью информации понимается ее свойство отражать реально существующие объекты с необходимой точностью [6], то проблема объективности исторического познания относится к одной из самых фундаментальных теоретических проблем [7]. Историк-исследователь, как правило, имеет дело с субъективными свидетельствами и оценками. Даже в ситуации, когда, казалось бы, можно опереться на объективные данные, невозможно исключить субъективную составляющую [8]. Существуют многочисленные методологические подходы к проблеме оценки достоверности исторического источника [9–11]. Разработаны отдельные средства автоматизации обработки конкретно-исторических фактов (сравнения, нормализации, выявления связей, разрешение противоречий, вывод новых фактов). Примером может служить разработанная в ИПИ ФИЦ ИУ РАН система «Фактограф» [12]. Но имеется очевидная потребность в средствах автоматизированной оценки достоверности конкретно-исторических фактов в составе полноценной технологии поддержки исследовательского процесса.

Такая технология существует и описана в [13–15]. Это распределенная технология ПКИИ, основанная на принципах краудсорсинга (мобилизации ресурсов широкого круга добровольцев посредством информационных технологий). В ней предусмотрены некоторые механизмы поддержки как ручной, так и автоматизированной атрибуции конкретно-исторических фактов и результатов информационных запросов оценками их достоверности:

- ручная установка атрибута достоверности экземпляра  $|0-1|$ ;
- ручная установка признака условности связи с описанием причин условности, т. е. границ ее действия;
- поддержка признака уникальности значения для связей типа «атрибут», что позволяет производить автоматический поиск противоречий в данных;
- поддержка признака наследуемости значения для связей типа «атрибут», что позволяет автоматически назначать признак условности результату поискового запроса при наследовании значения через связь типа «часть».

Недостатком предусмотренных мер является использование автоматических атрибуций только в строго оговоренных специальных случаях, а основная же масса фактов может быть атрибутирована только вручную. Как показано в [16] на основе анализа примеров сообществ с разными формами активности, распределение участников по формам активности соответствует усеченному нормальному закону с модой в первой половине всего интервала форм активности. Назначение фактам оценки их достоверности относится к необязательным процедурам и, следовательно, может быть отнесено к третьей, наиболее редкой форме активности пользователей [16]. Это означает, что только незначительное число фактов (несколько процентов) будет снабжено пользовательскими оценками. Поэтому имеется потребность развития технологии с целью включения в нее механизмов автоматизированной атрибуции фактов признаком достоверности.

## 2 Модель данных технологии

Модель данных, положенная в основу технологии ПКИИ, опирается на иерархическое представление ИБФ [8].

Ресурсом для ИБФ служит фрагмент текста историко-биографической направленности. Ссылкой на ресурс в технологии служит указатель фрагмента текста (УФТ). В совокупности ИБФ образуют семантическую сеть, состоящую из двух подсетей — сети понятий и сети экземпляров.

Узлы сети понятий представляют собой именованные универсальные классы объектов. Единственным обязательным свойством класса является его имя. Из распределенности технологии вытекает, что сеть создается независимо разными исследователями, а потому она формируется из автономных именованных подсетей. Для «склейки» этих подсетей между собой предусмотрена связь эквивалентности. Помимо нее предусмотрены направленные связи типа «подпонятие», «атрибут» и «значение».

Каждая связь может иметь признак условности. Условная связь для успешной интерпретации пользователем снабжена описанием причин условности, т. е. границ ее действия. Описание состоит из текстового комментария и при необходимости набора ссылок на источники в форме УФТ.

Также каждая связь типа «атрибут» может иметь признак уникальности значения, необходимый для задач поиска противоречий в данных, и признак наследуемости значения, использующийся только для связей типа «часть».

Факты задаются значениями экземпляров классов и отношениями между ними. Отношения наследуются из сети классов. Между экземплярами одного класса может быть дополнительно установлена связь эквивалентности. Также может быть добавлено дополнительное отношение типа «часть», необходимое для наследования атрибутов. Для разделения атрибутов на наследуемые и ненаследуемые служит признак наследуемости. Каждый экземпляр имеет значение, которое может быть пустым. Непустое значение сопровождается либо текстовым комментарием, либо УФТ, связывающим его с документом-источником.

Поскольку документы-источники предполагают автоматизированную обработку, они хранятся в базе данных (БД) технологии в простом текстовом формате вместе с набором своих атрибутов. Атрибутами документа служат:

- название документа;
- автор (список авторов) документа;
- дата создания (написания) документа;
- дата загрузки документа в БД;
- пользователь, загрузивший документ в БД;
- полнотекстовая аннотация текста (комментарий);
- оригинальное размещение документа (библиотека, архив, сетевой ресурс).

### 3 Виды оценок достоверности и их значения

К объектам, для которых имеет смысл атрибут достоверности, относятся:

- экземпляр;
- документ-источник;
- автор документа.

Целесообразность атрибуции экземпляра не вызывает сомнений, поскольку факты задаются значениями именно экземпляров, связанных отношениями [13]. На оценку достоверности экземпляра может влиять оценка документа-источника, связанного с этим экземпляром посредством УФТ. На оценку документа-источника может влиять оценка его автора. При этом достоверность такого параметра документа, как «оригинальное размещение документа», оценивать не имеет смысла, поскольку при формировании архивов и прочих хранилищ исторической информации, включая сетевые, во главу угла ставится ширина охвата, а какая-либо политика отбраковки документов на основании их содержания отсутствует. В результате в хранилище могут находиться документы самых разных уровней достоверности, и сформировать ее какую-либо интегральную оценку не представляется возможным. В этом проявляется одно из принципиальных отличий конкретно-исторического исследования от исследований в других областях, где для оценки достоверности информации предлагается прежде всего оценить, насколько заслуживает доверия источник информации (сайт) [3].

При анализе информации важна не только точность оценок, но и степень их обоснованности [17], поэтому целесообразно сопоставить с атрибутом достоверности объекта не только само значение оценки достоверности, но и значение показателя обоснованности этой оценки.

В основе системы оценок  $O$  будут лежать оценки пользователей вида  $U = \langle s, d, Id \rangle$ , где  $s$  — оценка достоверности;  $d$  — степень обоснованности оценки;  $Id$  — уникальный идентификатор пользователя. Пользовательских оценок  $U$  у одного объекта может быть несколько. Единая оценка  $O$  объекта имеет вид  $\langle \bar{s}, \bar{d}, r \rangle$ , где  $\bar{s}$  — сформированная системой оценка достоверности;  $\bar{d}$  — сформированная системой степень ее обоснованности;  $r$  — уровень оценки, определяющий их иерархию. Оценка может формироваться одним из следующих способов:

- (1) назначенная оценка формируется на основании имеющихся пользовательских оценок данного объекта. Уровень  $r$  сформированной таким способом оценки будет наивысшим и обозначается  $r_0$ ;
- (2) наследованная оценка формируется для объекта, не имеющего пользовательских оценок, на основании уже сформированных оценок объектов, напрямую связанных с данным. Наследование происходит от объектов с наивысшим уровнем  $r_n$ , и сформированная оценка будет иметь уровень  $r_{n+1}$  на одну ступень ниже уровня  $r_n$ ;

- (3) пустая оценка  $\langle 0, 0, r_\infty \rangle$  с наименьшим уровнем назначается объекту в случае отсутствия у объекта пользовательских оценок и связанных оцененных объектов. Для пустой оценки принимается  $s = 0$  и  $d = 0$ .

Назначенная оценка  $O = \langle s, d, r_0 \rangle$  складывается из пользовательских оценок  $\{\langle s_i, d_i, Id_i \rangle | i = 1, \dots, k, k > 0\}$ , заданных выбранному объекту  $k$  пользователями, по следующим правилам. Результирующая оценка  $\bar{s}$  представляет собой среднее взвешенное оценок, заданных пользователями:

$$\bar{s} = \frac{\sum s_i d_i}{\sum d_i}. \quad (1)$$

В качестве весов выступают степени обоснованности этих оценок, при этом менее обоснованные оценки оказывают меньшее влияние на результат. Результирующая степень достоверности оценки  $\bar{d}$  есть среднее арифметическое откорректированных степеней достоверности:

$$\bar{d} = \frac{\sum d_i (1 - |\bar{s} - s_i|^\gamma)}{k}, \quad \gamma > 1. \quad (2)$$

Здесь в качестве корректирующих используются коэффициенты  $\varphi_i = 1 - |\bar{s} - s_i|^\gamma$ , учитывающие степень близости текущей оценки достоверности к результирующей. Данные коэффициенты позволяют считать оценки, значительно отличающиеся от результирующей оценки, менее обоснованными. Значение эмпирического показателя степени  $\gamma$  устанавливается на основании экспертных оценок по результатам тестирования технологии.

При наличии для данного объекта пользовательских оценок оценки прочих типов не учитываются.

Наследованная оценка формируется по следующим правилам. Пусть  $M$  — множество объектов, непосредственно связанных с текущим. Через  $M^+$  обозначим подмножество  $M$  с максимальным уровнем их оценок:  $M^+ \subset M, \forall m^+ \in M^+, \forall m \in M: O(m^+) = \langle s^+, d^+, r^+ \rangle \wedge O(m) = \langle s, d, r \rangle \Rightarrow r^+ \geq r$ . Здесь через  $O(m)$  обозначена оценка объекта  $m$ . Соответственно, обозначим множество всех оценок объектов, принадлежащих  $M$ , как  $O(M) = \{O(m) : m \in M\}$ .

Результирующая оценка достоверности  $\bar{s}$  вычисляется аналогично назначенной оценке:

$$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^{|M^+|} s_i d_i}{\sum_{i=1}^{|M^+|} d_i}. \quad (3)$$

Результирующая оценка  $\bar{s}$  представляет собой среднее взвешенное оценок объектов, принадлежащих множеству  $M^+$ . В качестве весов выступают степени

обоснованности этих оценок. Менее обоснованные оценки оказывают меньшее влияние на результат.

Результатирующая степень достоверности оценки  $\bar{d}$  также вычисляется аналогично степени достоверности назначенной оценки, но с одним существенным отличием: в знаменателе используется не объем множества  $M^+$ , по элементам которого ведется суммирование, а общее число связанных объектов, т. е. объем множества  $M$ :

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^{|M^+|} d_i (1 - |\bar{s} - s_i|^\gamma)}{|M|}, \quad \gamma > 1. \quad (4)$$

Таким образом,  $\bar{d}$  есть среднее арифметическое откорректированных степеней достоверности объектов  $M^+$  с коэффициентом  $|M^+|/|M|$ , отражающим долю объектов с максимальным уровнем в общем числе объектов, непосредственно связанных с оцениваемым. Значение эмпирического показателя степени  $\gamma$  то же, что и для назначенной оценки.

Уровень оценки  $\bar{r}$  будет на одну ступень ниже уровня оценки объектов множества  $M^+$ .

#### 4 Последовательность назначения оценок

В рассматриваемой технологии объекты организованы в семантическую сеть. Изменение оценок узлов этой сети может быть инициировано следующими причинами:

- введение в сеть нового объекта;
- назначение новой пользовательской оценки объекту.

Введение нового объекта с пустой оценкой может привести к коррекции оценок связанных объектов, поскольку степень достоверности  $\bar{d}$  зависит от числа связанных объектов  $|M|$ . Новый объект или объект с новой пользовательской оценкой будем называть первичным объектом.

Для произвольного объекта  $m$  с наследуемой или пустой оценкой определим итерационную процедуру коррекции оценки  $\text{Cor}(m)$ :

- (1) в соответствии с правилами формирования наследованной оценки (формулы (3) и (4)) формируется оценка  $O(m) = \langle s, d, r \rangle$ ;
- (2) для каждого объекта  $m_i$ , непосредственно связанного с  $m$  и имеющего уровень оценки ниже, выполняется  $\text{Cor}(m_i)$ ;
- (3) при достижении уровня оценки, равного константе  $\rho$ , дальнейшее выполнение процедуры в соответствии с п. 2 не производится.

Введение предельного уровня оценки  $\rho$ , устанавливаемого на основании экспертных оценок по результатам тестирования технологии, позволяет не создавать оценок с заведомо низкой достоверностью.

Последовательность назначения оценок следующая:

- (1) если первичный объект — новый, он изначально получает пустую оценку; далее для всех связанных объектов, имеющих наследованные оценки, выполняется процедура Ког;
- (2) если первичному объекту назначена новая пользовательская оценка, то для него формируется назначенная оценка в соответствии с формулами (1) и (2); далее для всех связанных объектов, имеющих наследованные и пустые оценки, выполняется процедура Ког.

## 5 Оценка достоверности факта в целом

Историко-биографический факт представляет собой иерархическую структуру [8], состоящую из значений экземпляров классов и отношений между ними — как унаследованных из сети классов, так и дополнительно установленных связей эквивалентности и отношений типа «часть». Историко-биографический факт возникает как результат выполнения поискового запроса к семантической сети [13].

Оценка достоверности ИБФ вычисляется на основании оценок входящих в него экземпляров по формулам (1) и (2). При этом суммирование проводится по всем экземплярам, независимо от уровня их оценок. Уровень оценки  $r$  для ИБФ не имеет смысла и, соответственно, не вычисляется.

Оценка не может быть вычислена, если оценки всех входящих в ИБФ экземпляров оказываются пустыми. В этом случае ИБФ назначается пустая оценка.

## 6 Выводы

Предложенный механизм автоматизации оценки достоверности фактов существенно дополняет и развивает технологию ПККИИ, ориентированной на широкий круг пользователей, не относящихся к профессиональным историкам и биографам, что очень актуально в связи со все возрастающим общественным интересом к «частной», семейной истории.

Окончательные выводы о степени востребованности предложенного механизма в условиях проведения реальных конкретно-исторических исследований (и определение значения константы  $\gamma$ ) могут быть сделаны только при опытной эксплуатации модифицированной технологии. Эффективность механизма, определяемая соотношением числа наследованных и пустых оценок при заданном уровне назначенных оценок, может быть оценена методами моделирования.

## Литература

1. Курносое Ю. В., Конотопов П. Ю. АНАЛИТИКА: методология, технология и организация информационно-аналитической работы. — М.: Русаки, 2004. 550 с.

2. *Зубец В. В., Ильина И. В.* Оценка достоверности сетевой информации // Вестник Тамбовского университета. Сер.: Естественные и технические науки, 2011. Т. 16. № 1. С. 209–212.
3. *Иванова С. М.* Оценка достоверности информации, найденной в сети Интернет // Преподаватель XXI век, 2015. № 4-1. С. 54–60.
4. *Серый А. С.* Разработка методов и средств контроля достоверности и актуальности фактографического наполнения информационных систем // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции: Тр. XV Всеросс. научн. конф. — Ярославль: ЯрГУ им. П. Г. Демидова, 2013. С. 391–398.
5. *Dong X. L., Gabrilovich E., Murphy K., Dang V., Horn W., Lugaresi C., Sun S., Zhang W.* Knowledge-based trust: Estimating the trustworthiness of web sources // Proceedings of the VLDB Endowment, 2015. Vol. 8. No. 9. P. 938–949.
6. *Еременко В. Т., Минаев В. А., Фисун А. П. и др.* Теория информации. — Орел: ОрелГТУ, ОГУ, 2010. 442 с.
7. *Смоленский Н. И.* Теория и методология истории. — 2-е изд. — М.: Академия, 2008. 272 с.
8. *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.
9. *Грицкевич В. П., Каун С. Б., Ходин С. Н.* Теория и история источниковедения. — Минск: БГУ, 2000. 221 с.
10. *Можаева Г. В., Мишанкина Н. А.* Контент-анализ историографического источника (к вопросу о междисциплинарности лингвистических методов) // Вестник Томского государственного университета, 2007. № 294. С. 52–61.
11. *Скорыходов М. В.* Выявление источников и определение степени их достоверности как этап биографического исследования // Право на имя: Биографика XX века: Седьмые биографические чтения памяти Вениамина Иофе. — СПб.: Мемориал, 2010. С. 161–166.
12. *Маркова Н. А.* Технология поддержки конкретно-исторических исследований на основе модели фактоподобных высказываний // Программная инженерия, 2015. № 5. С. 43–48.
13. *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.
14. *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.
15. *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.
16. *Адамович И. М., Волков О. И.* Модель процесса коррекции ошибок в семантической сети // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 1. С. 65–76. doi: 10.14357/08696527180105.
17. *Басовский Л. Е.* Теория экономического анализа — М.: ИНФРА-М, 2001. 220 с.

Поступила в редакцию 15.11.19

## **AUTOMATED ESTIMATION OF THE TRUSTWORTHINESS OF CONCRETE HISTORICAL FACTS**

*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 119333, Russian Federation

**Abstract:** The article continues the series of works devoted to the technology of concrete historical research supporting. 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 assessment of the reliability of the processed information. The impossibility of using the existing approaches to this problem was substantiated by the specificity of concrete historical research and the processed information in its context which is presented in the form of historical-biographical fact. The classification of types of concrete historical information for which the parameter of reliability is reasonable was carried out. The detailed description of the mechanism was given; the procedures of automatic generation of information reliability assessments were defined. The methods of evaluating the effectiveness of the proposed mechanism are described. A quantitative indicator of efficiency is proposed. The applicability of computer modeling methods for its determination is substantiated.

**Keywords:** concrete historical investigation; distributed technology; reliability of information; historical-biographical fact; automated procedure

**DOI:** 10.14357/08696527200114

### **References**

1. Kurnosov, Yu. V., and P. Yu. Konotopov. 2004. ANALITIKA: metodologiya, tekhnologiya i organizatsiya informatsionno-analiticheskoy raboty [ANALITIKA: Methodology, technology, and organization of information and analytical work]. Moscow: RUSAKI. 550 p.
2. Zubets, V. V., and I. V. Ilyina. 2011. Otsenka dostovernosti setevoy informatsii [Estimation of reliability of network information]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Ser. Estestvoennyye i tekhnicheskie nauki* [Tambov University Reports. Natural and technical sciences ser.] 16(1):209–212.
3. Ivanova, S. M. 2015. Otsenka dostovernosti informatsii, naydennoy v seti Internet [Assessment of the reliability of information found on the Internet]. *Prepodavatel XXI vek* 4-1:54–60.
4. Seryy, A. S. 2013. Razrabotka metodov i sredstv kontrolya dostovernosti i aktual'nosti faktograficheskogo napolneniya informatsionnykh sistem [Developing methods for maintaining data reliability in an information system based on facts]. *Elektronnyye*



- biblioteki: perspektivnye metody i tekhnologii, elektronnye kolleksii: Tr. XV Vseross. nauchn. konf.* [Digital Libraries: Advanced Methods and Technologies, Digital Collections: 15th All-Russian Scientific Conference Proceedings]. Yaroslavl: P. G. Demidov Yaroslavl State University. 391–398.
5. Dong, X. L., E. Gabrilovich, K. Murphy, V. Dang, W. Horn, C. Lugaresi, S. Sun, and W. Zhang. 2015. Knowledge-based trust: Estimating the trustworthiness of web sources. *Proceedings of the VLDB Endowment* 8(9):938–949.
  6. Eremenko, V. T., V. A. Minaev, A. P. Fisun, et al. 2010. *Teoriya informatsii* [Information theory]. Orel: OrelSTU, OSU. 442 p.
  7. Smolenskiy, N. I. 2008. *Teoriya i metodologiya istorii* [Theory and methodology of history]. 2nd ed. Moscow: Academia Publs. 272 p.
  8. 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* 26(2):108–122. doi: 10.14357/08696527160207.
  9. Gritskevich, V. P., S. B. Kaun, and S. N. Khodin. 2000. *Teoriya i istoriya istochnikovedeniya* [Theory and history of the source criticism]. Minsk: Belarusian State University. 221 p.
  10. Mozhaeva, G. V., and N. A. Mishankina. 2007. Kontent-analiz istoriograficheskogo istochnika (k voprosu o mezhdistsiplinarnosti lingvisticheskikh metodov) [Content analysis of a historiographical source (on the interdisciplinarity of linguistic methods)]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Tomsk State University Bull.] 294:52–61.
  11. Skorokhodov, M. V. 2010. Vyyavlenie istochnikov i opredelenie stepeni ikh dostovernosti kak etap biograficheskogo issledovaniya [Identification of sources and determination of their reliability as a stage of biographical research]. *Sed'mye biograficheskie chteniya pamyati Veniamina Iofe "Pravo na imya: Biografika XX veka"* [7th Biographical Reading on the Memory of Veniamin Ioffe "The right to a name: Biography in the 20th century"]. St. Petersburg. 161–166.
  12. Markova, N. A. 2015. Tekhnologiya podderzhki konkretno-istoricheskikh issledovaniy na osnove modeli faktopodobnykh vyskazyvaniy [Support technology for specific historical studies on the base of fact-like propositions model]. *Programmnyaya inzheneriya* [Software Engineering] 5:43–48.
  13. Adamovich, I. M., and O. I. Volkov. 2016. Tekhnologiya raspredelenного 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.
  14. 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.
  15. 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* 29(2):161–171. doi: 10.14357/08696527190214.

16. Adamovich, I. M., and O. I. Volkov. 2018. Model' protsessa korreksii oshibok v semanticheskoy seti [The model of semantic net error correction process]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 28(1):65–76. doi: 10.14357/08696527180105.
17. Basovskiy, L. E. 2001. *Teoriya ekonomicheskogo analiza* [Theory of economic analysis]. Moscow: Infra-M Publy. 220 p.

*Received November 15, 2019*

## **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

## РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ С ГРАФИЧЕСКИМ ИНТЕРФЕЙСОМ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СТРЕСС-АНАЛИЗА НА БАЗЕ РЕШАТЕЛЯ *solidDisplacementFoam* ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ *OpenFOAM*

*Д. И. Читалов*<sup>1</sup>

**Аннотация:** Цель настоящей работы заключается в разработке программного средства с графическим интерфейсом для проведения стресс-анализа на базе программной среды (ПС) *OpenFOAM*. Приведена сравнительная характеристика имеющихся программных приложений для решения указанной проблемы, определена ее актуальность. Определен инструментарий, необходимый для достижения поставленной цели. Представлены диаграммы структуры и логики функционирования приложения. Результатом исследования стало приложение с графической оболочкой для проведения стресс-анализа на базе ПС *OpenFOAM*. Протестирована работа программы на примере одной из учебных задач, входящих в *OpenFOAM*. Сформулированы положения, определяющие научную новизну исследования и его практическую значимость, приведена ссылка для загрузки программы с сервиса *GitHub*. Подведены итоги работы, определены дальнейшие перспективы исследований.

**Ключевые слова:** численное моделирование; механика сплошных сред; стресс-анализ; *OpenFOAM*; открытое программное обеспечение; графический интерфейс пользователя; язык программирования *Python*; библиотека *PyQt*

**DOI:** 10.14357/08696527200115

### 1 Введение

В настоящее время процесс производства многокомпонентных изделий, выпускаемых на предприятиях различных отраслей машиностроения — ракетостроения, автомобилестроения, авиакосмического машиностроения, двигателестроения, не обходится без применения информационных технологий. Внедряемые программные средства призваны обеспечить повышение качества выпускаемых изделий, а также снижение временных и финансовых затрат, необходимых на каждом этапе производственного цикла. На этапе проектирования изделий, в частности, создаются модели, на основе которых определяются параметры изделий, а также анализируется изменение их свойств при наличии внутренних и внешних сил.

---

<sup>1</sup>Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук, г. Миасс, Челябинская обл., cdi9@yandex.ru

Благодаря современным программным средствам инженеры имеют возможность получения цифровых (компьютерных) моделей, имитирующих реальные объекты (простые и многокомпонентные изделия). Одним из таких программных средств служит ПС OpenFOAM [1], которая, в частности, успешно применяется инженерами и исследователями всего мира для построения цифровых моделей объектов и изучения их свойств под влиянием внутренних и внешних сил, на базе численных методов. Соответствующие вопросы относятся к разделам механики сплошных сред (МСС): к аэрогазогидродинамике, к механике жидкости, газа и деформируемого твердого тела. Несмотря на успехи в применении ПС OpenFOAM при решении реальных задач — она находится на вооружении у специалистов Audi, Volvo, Toyota, Volkswagen, Shell Oil [2], — сохраняет свою актуальность проблема отсутствия встроенной графической оболочки для централизованного управления этапами численного моделирования и получения цифровой модели объекта. Зарубежными разработчиками представлены собственные варианты приложений с графическим интерфейсом: Visual-CFD, Helyx-OS, Salome, — которые нашли своего пользователя, но оказались не лишены недостатков: отсутствие технической поддержки или ее предоставление на коммерческой основе, необходимость приобретения лицензии (Visual-CFD). Для отечественных специалистов использование представленных графических оболочек осложняется также отсутствием русскоязычной документации.

Перечисленные трудности возникли у специалистов АО ГРЦ им. Макеева, которые применяют ПС OpenFOAM для проведения численного моделирования задач МСС в процессе проектирования продукции ракетно-космической отрасли [3]. В рамках решения обозначенной проблемы была поставлена задача разработки оригинальной графической оболочки, которая бы учитывала специфику работы предприятия, а также была бы применима на предприятиях других отраслей машиностроения. Графическая оболочка должна упрощать постановку численных экспериментов на базе ПС OpenFOAM, сопровождаться технической документацией и обладать русско- и англоязычными версиями интерфейса пользователя.

Результаты проведенной в 2016–2018 гг. работы по изучению предметной области (особенностей моделирования задач МСС на базе ПС OpenFOAM) [4–6] и подготовке базовой версии приложения представлены в научных статьях [7–9], а также в рамках международной научной конференции [10]. На созданные программные средства авторами получены свидетельства о регистрации программ для ЭВМ (№ 2016613637 от 01.04.2016 и № 2018616380 от 30.05.2018). Программная среда OpenFOAM совершенствуется, дополняется новыми утилитами, необходимыми для исследования особенностей задач МСС. Перед авторами была сформулирована задача разработки специальной версии графической оболочки для проведения стресс-деформационного анализа в процессе численного эксперимента.

Стресс-анализ, или анализ напряженно-деформируемого состояния, представляет собой инженерную дисциплину, использующую совокупность методов

для выявления напряжений и деформаций в материалах и конструкциях под воздействием сил. Проведение стресс-анализа — ключевая задача для инженеров, специализирующихся на проектировании различных конструкций: механических деталей, корпусов самолетов и ракет, туннелей, мостов, плотин. Определение параметров напряженно-деформируемого состояния требуется при техническом обслуживании конструкций и при анализе возможных причин структурных деформаций [11].

В процессе проведения стресс-анализа специалистами формулируется геометрическое описание конструкции, т. е. задается геометрия объекта (расчетная сетка), указываются свойства материалов для деталей конструкции, а также определяются силы, которые будут приложены к конструкции. Выходные данные формируются в виде количественного описания того, как приложенные силы распространяются по всей структуре, из-за чего возникают напряжения, деформации и прогибы всей структуры конструкции и каждого ее компонента [11].

В инженерном деле анализ напряженно-деформируемого состояния представляет собой не конечный результат, а важное промежуточное звено в процессе проектирования конструкций, которые должны справляться с определенной нагрузкой. В основе стресс-анализа лежат классические математические методы, а также методы компьютерного моделирования, аналитического математического моделирования или их комбинации [11].

В ПС OpenFOAM для проведения стресс-анализа применяются несколько утилит-решателей, прежде всего `solidDisplacementFoam`, за запуск которой отвечает соответствующая команда. Это переходный сегрегированный решатель конечных объемов линейно-упругой деформации твердого тела с малой деформацией, с необязательной температурной диффузией и тепловыми напряжениями [12].

## 2 Актуальность проблемы

Авторами проанализированы возможности ряда популярных программных средств, разработанных зарубежными компаниями для численного моделирования задач МСС на базе ПС OpenFOAM. Сравнение проведено по следующим критериям: необходимость приобретения лицензии, наличие технической поддержки и русскоязычной документации, а также встроенных средств для проведения стресс-анализа (табл. 1).

Из данных табл. 1 следует, что проблема разработки приложения с графическим интерфейсом для выполнения стресс-анализа при моделировании задач МСС сохраняет свою актуальность.

Об актуальности проблемы свидетельствует и тот факт, что перечисленные программные продукты созданы зарубежными компаниями, а 1 января 2016 г. вступило в силу Постановление Правительства РФ от 16 ноября 2015 г. № 1236 «Об установлении запрета на допуск программного обеспечения, происходящего из иностранных государств, для целей осуществления закупок для обеспечения

**Таблица 1** Графические оболочки для ПК OpenFOAM

Название	Лицензия	Техническая поддержка	Русскоязычная документация	Стресс-анализ
Visual-CFD [13]	Бесплатная версия на 30 дней	Предусмотрена, платная	Отсутствует	Возможен
Salome [14]	ПО с открытым кодом	Не предусмотрена	Отсутствует	Возможен
Helix-OS [15]	ПО с открытым кодом	Предусмотрена, платная	Отсутствует	Возможен

государственных и муниципальных нужд» [16]. Государство ставит задачу развития импортозамещения для защиты от санкций, поддержки отечественных производителей, сохранения денежных средств в стране. Прежде всего это Постановление распространяется на госорганы, а в ближайшем будущем может быть ориентировано и на компании с государственным участием [17].

### 3 Постановка целей и задач

Цель настоящего исследования заключается в разработке приложения с графическим интерфейсом пользователя (`stress_analysis_app`) для реализации возможности централизованного проведения анализа напряженно-деформируемого состояния в процессе численного моделирования задач МСС в рамках проектирования продукции машиностроительных предприятий. Для достижения поставленной цели авторы должны выполнить следующие задачи:

– по структуре интерфейса программы:

- (1) спроектировать главное окно приложения с семью интерфейсными блоками: панелью управления созданием проекта задачи МСС (расчетного случая, РС), панелью управления подготовкой РС, панелью управления процессом проведения стресс-анализа, блоком структуры РС, блоком редактирования параметров РС, блоком отображения результатов генерации служебных файлов с параметрами РС, панелью вывода служебных сообщений;
- (2) в первой панели управления создать кнопку открытия модального окна выбора РС и кнопку открытия окна выбора языковой версии интерфейса приложения;
- (3) во второй панели управления создать кнопку открытия окна выбора РС, кнопку запуска генерации РС и кнопку запуска отображения РС;
- (4) в третьей панели управления создать кнопку запуска процесса выполнения стресс-анализа и кнопку запуска визуализации результатов;

- (5) в блоке структуры РС реализовать формирование дерева проекта задачи МСС с возможностью выбора служебных файлов (ветвей дерева) по клику мыши для редактирования;
  - (6) в блоке редактирования служебных файлов с параметрами РС реализовать окно для загрузки соответствующих экранных форм;
  - (7) в блоке отображения результатов генерации служебных файлов реализовать соответствующее виджет-окно;
- по логике работы программы:
- (1) реализовать возможность проведения стресс-анализа для любого расчетного случая ПС OpenFOAM, а также возможность изменения параметров стресс-анализа при его повторном проведении;
  - (2) реализовать систему вывода информационных сообщений для оповещения пользователя о статусе выполняемых им в программе действий;
  - (3) реализовать систему валидаторов для элементов управления экранных форм редактирования служебных файлов с параметрами РС с целью обеспечения возможности указания данных только допустимого типа;
  - (4) реализовать систему проверки комплектности служебных файлов РС, необходимых для запуска выполнения стресс-анализа;
  - (5) реализовать русско- и англоязычную версии интерфейса программы.

## 4 Выбор инструментария разработки

После определения списка задач важным вопросом становится выбор инструментария для реализации поставленной цели, а именно: языка программирования для описания логики работы приложения и библиотеки для реализации графической составляющей приложения (интерфейса). По результатам анализа существующих высокоуровневых языков программирования с точки зрения их возможностей и уровня популярности в 2018 г. (рейтинг TIOBE) наиболее оптимальным оказался высокоуровневый язык программирования Python [18, 19]. Синтаксис языка интуитивно понятен, благодаря чему требуется минимальное время на его изучение.

В качестве библиотеки для реализации интерфейса принято решение использовать фреймворк PyQt [20], обеспечивающий проектирование полноценных интерфейсов настольных программных продуктов с привлекательным дизайном. Итоговый список инструментария для разработки приведен в табл. 2.

Кроме того, для эффективного применения разрабатываемой программы необходимо соблюдение требований по необходимому программному обеспечению (ПО). Список ПО представлен в табл. 3.

**Таблица 2** Список инструментов для разработки приложения

Язык описания логики программы	Фреймворк описания интерфейса	Среда разработки
Python 3.5	PyQt5	PyCharm 2.4

**Таблица 3** Список ПО для работы с приложением

Операционная система	Основное ПО	Дополнительное ПО
Linux	OpenFOAM 6.0	ParaView

На компьютерах пользователей необходимо наличие установленных ПС OpenFOAM — как программного комплекса, осуществляющего непосредственное проведение стресс-анализа, — и ParaView — открытой программы для визуализации и анализа результатов исследований [21].

## 5 Структура и логика работы приложения

В основе реализации приложения `stress_analysis_app` лежит модульный принцип — программный код разделен на блоки (модули). Диаграмма, описывающая структуру приложения, приведена на рис. 1.

Программный продукт `stress_analysis_app` реализован в виде настольного приложения, главная директория которого включает запускаемый файл `run.py` и ряд директорий, содержащих файлы-модули с исходным кодом. На рис. 2 приведена диаграмма логики работы приложения `stress_analysis_app`.

В соответствии с представленной диаграммой основным звеном, связывающим пользователя программы `stress_analysis_app` с ПС OpenFOAM, служит главное окно, где перед началом проведения стресс-анализа выполняется численное моделирование задачи МСС.

Далее необходимо перейти к указанию параметров стресс-анализа, т. е. заполнению соответствующих служебных файлов. Затем выполняется непосредственно запуск анализа напряженно-деформируемого состояния и визуализация его результатов.

## 6 Результаты исследования

На рис. 3 и 4 представлены изображения главного окна приложения на этапах завершения выполнения стресс-анализа и визуализации его результатов. Приведенные результаты получены на основе эксперимента, проведенного на примере учебной задачи `plateHole`, входящей в дистрибутив ПС OpenFOAM [22, 23].



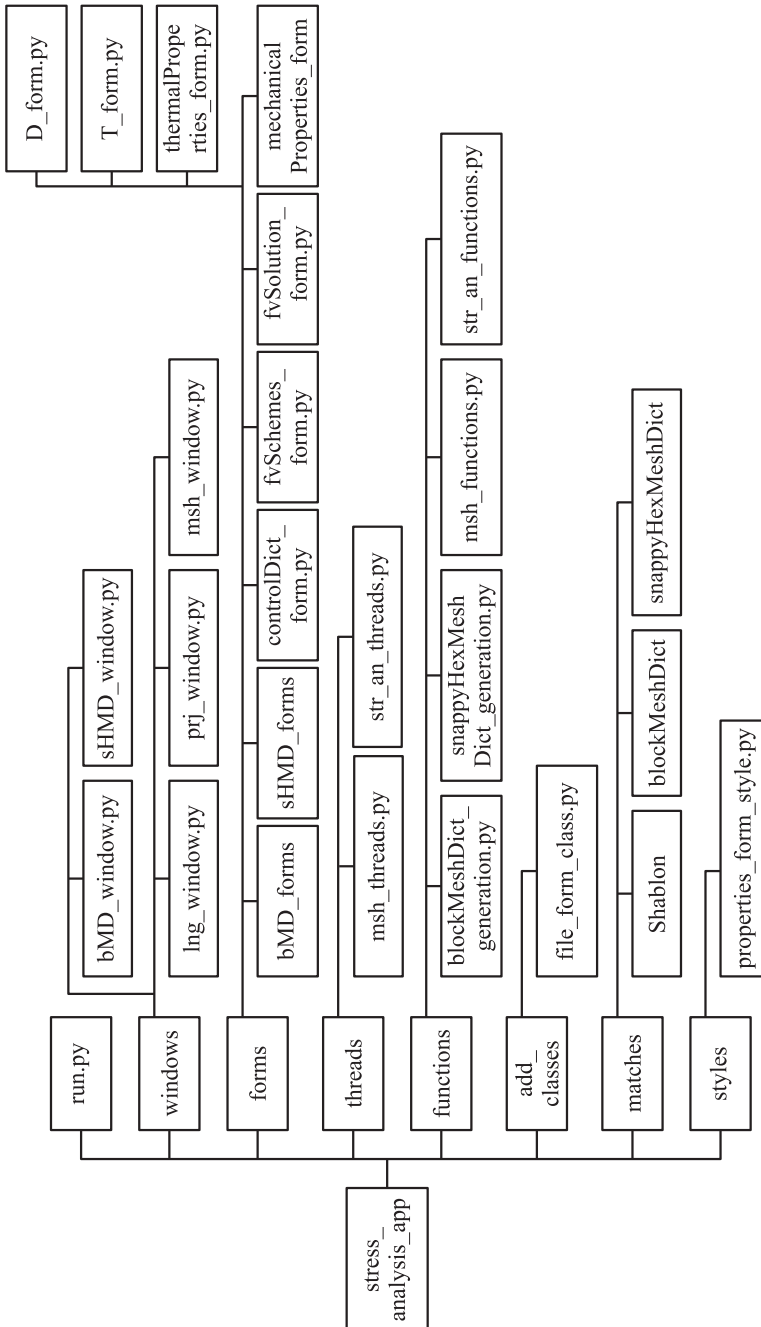
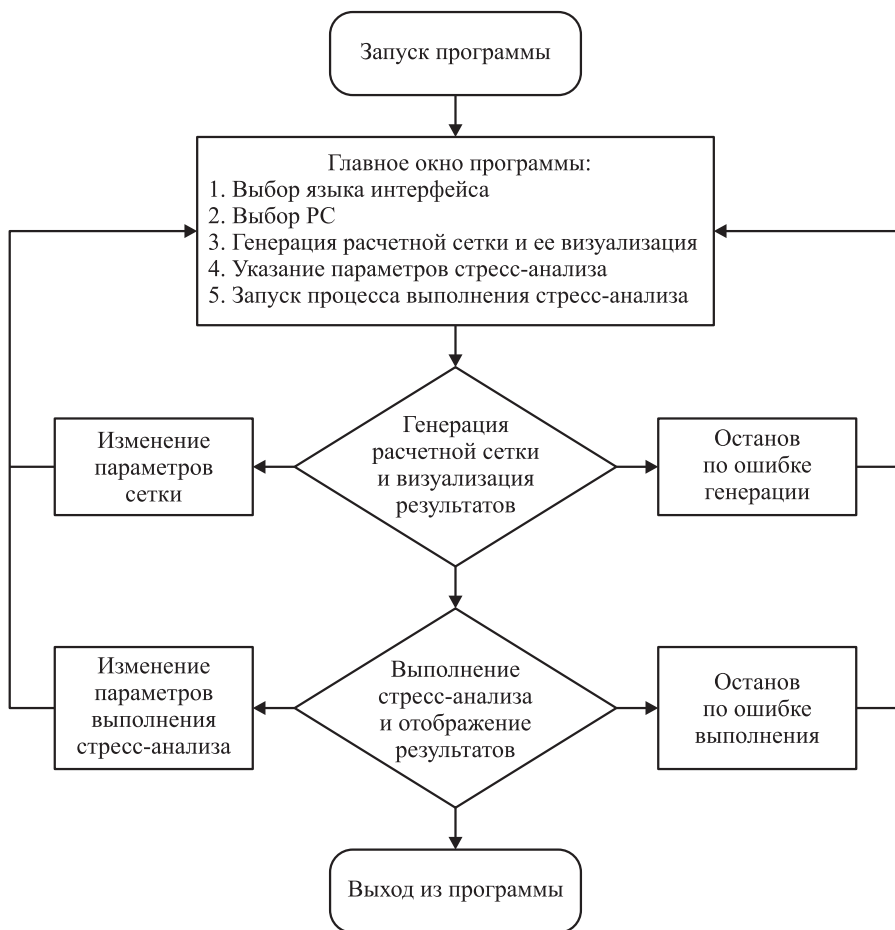


Рис. 1 Структура приложения stress\_analysis\_app



**Рис. 2** Логика работы приложения stress\_analysis\_app

Разработанное программное средство stress\_analysis\_app расширяет исходный код ПС OpenFOAM и размещено в свободном доступе на площадке хостинга IT-проектов GitHub для обеспечения возможности тестирования потенциальными пользователями [24].

## 7 Научная новизна исследования

На основе поставленных задач были сформулированы вызовы структурного и логического характера, которые необходимо решить для реализации основной

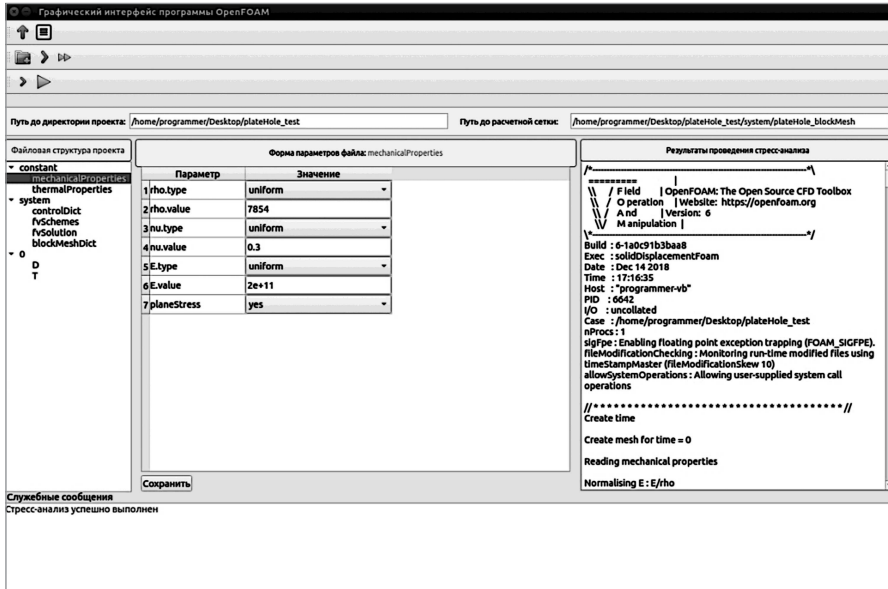


Рис. 3 Приложение stress\_analysis\_app на этапе завершения выполнения стресс-анализа

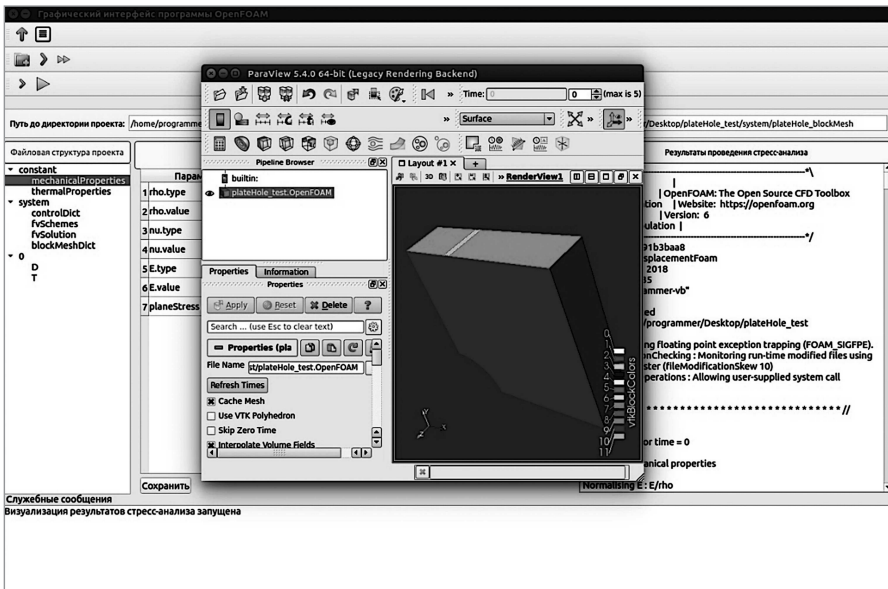


Рис. 4 Приложение stress\_analysis\_app на этапе визуализации результатов стресс-анализа

цели разработки. При этом предложены следующие подходы, которые могут составлять научную новизну исследования.

1. Для каждого из служебных файлов с параметрами стресс-анализа создать модуль экранной формы, отделив ее внешнее представление от логики работы для упрощения последующего изменения функциональности формы.
2. Для обеспечения возможностей сохранения и последующего «восстановления» параметров стресс-анализа реализовать хранилище в виде файла базы данных формата SQLite, содержащего таблицы, каждая из которых соответствует определенному служебному файлу и содержит данные, извлекаемые из соответствующих экранных форм.
3. Для реализации возможности программного запуска консольных утилит ПС OpenFOAM реализовать механизм генерации соответствующих bash-скриптов и их запуска в рамках концепции многопоточности, обеспечиваемой средствами языка программирования Python [25].
4. Для предотвращения неверных действий пользователя реализовать набор валидаторов для данных, вводимых через элементы управления экранных форм, и механизм проверки комплектности создания и заполнения служебных файлов с параметрами стресс-анализа, необходимых для его корректного выполнения.

## 8 Практическая значимость исследования

Использование программного средства `stress_analysis_app` для проведения анализа напряженно-деформируемого состояния при постановке численных экспериментов на базе ПС OpenFOAM позволяет, по сравнению с традиционным подходом, предусматривающим использование командной строки для управления численным моделированием, обеспечить следующие преимущества:

- (1) минимизацию затрат рабочего времени специалистов. Благодаря созданному приложению пользователи избавлены от необходимости вручную создавать файлы с параметрами стресс-анализа и запускать утилиты генерации стресс-анализа и визуализации результатов;
- (2) снижение числа ошибок пользователя в процессе проведения стресс-анализа. Валидаторы и система проверки комплектности служебных файлов позволяют осуществлять запуск стресс-анализа и его визуализацию только при условии указания корректных данных;
- (3) упрощение освоения механизма выполнения стресс-анализа средствами ПС OpenFOAM. Этот процесс осуществляется по строго определенному алгоритму. Для экранных форм реализована система всплывающих подсказок и механизм оповещения специалиста о корректности выполняемых операций.

## 9 Заключение

Современный этап развития промышленности демонстрирует тенденцию к активной информатизации производственного цикла продукции, в том числе и на этапе проектирования. Благодаря программным средствам, внедряемым на предприятиях различных отраслей машиностроения, обеспечивается автоматизация решения многих задач проектирования и выпуска продукции, снижение финансовых и временных затрат, минимизация брака.

В настоящей работе рассматривается проблема разработки программного средства, оснащенного графическим интерфейсом пользователя для проведения анализа напряженно-деформируемого состояния средствами ПС OpenFOAM при постановке численных экспериментов применительно к задачам МСС, прежде всего к задачам деформируемого твердого тела. От результатов стресс-анализа зависит качество создаваемых компьютерных моделей изделий на этапе проектирования и, как следствие, качество самих изделий. Результат проведенного исследования — программное средство `stress_analysis_app`, оснащенное графической оболочкой.

Программа разработана под нужды АО ГРЦ им. Макеева и успешно внедрена на предприятии, при этом она учитывает не только специфику работы предприятия над проектами ракетно-космической тематики, но и допустима к применению на предприятиях других отраслей машиностроения. В ходе тестирования программы специалисты отмечают сокращение времени на построение цифровых моделей изделий и упрощение изучения принципов работы с ПС OpenFOAM.

Планируется продолжение исследований в направлении реализации упрощения взаимодействия пользователя с ПС OpenFOAM в процессе работы над проектами задач МСС: в ходе препроцессинга, решения и постпроцессинга. Это позволит обеспечить свободно-распространяемой ПС OpenFOAM статус достойной альтернативы коммерческим пакетам.

## Литература

1. OpenFOAM. The open source CFD toolbox. <https://www.openfoam.com>.
2. Возможности открытых пакетов для решения задач механики сплошной среды. <http://www.unicluster.ru/conf/2010/docs/Unicluster.Strizhak%20S.V.%20Kraposhin%20M.V.pdf>.
3. АО ГРЦ им. Макеева. <http://www.makeyev.ru>.
4. Дегтярь В. Г., Пегов В. И., Меркулов Е. С. Численное моделирование эволюции границы каверны при пуске торпеды // Вестн. ЮУрГУ. Сер.: Матем. моделирование и программирование, 2013. Т. 6. Вып. 1. С. 5–12.
5. Ефимов В. В., Назаров А. Ю., Незаметдинов Р. Ш. Настройка пакета прикладных программ OpenFOAM для численного моделирования обтекания грузов на внешней тросовой подвеске вертолета // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации, 2013. Вып. 188. С. 28–33.

6. Jayakumar J. S., Chithra V. P. CFD analysis of heat transfer in simultaneously developing region of a square duct using OpenFOAM // 2nd Conference (International) for Convergence in Technology. — Mumbai, 2017. P. 1144–1149. doi: 10.1109/I2CT.2017.8226307.
7. Читалов Д. И., Меркулов Е. С., Калашиников С. Т. Разработка графического интерфейса пользователя для программного комплекса OpenFOAM // Программная инженерия, 2016. Вып. 12. С. 568–574. doi: 10.17587/prin.7.568-574.
8. Читалов Д. И., Калашиников С. Т. Разработка приложения для подготовки расчетных сеток с градуирующими и изогнутыми краями для программной среды OpenFOAM // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 4. С. 122–135. doi: 10.14357/08696527180412.
9. Читалов Д. И., Калашиников 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.
10. Chitalov D. I., Kalashnikov S. T. Development of user interface for OpenFOAM software environment used in design and technological subdivisions of machine-building enterprises // Global Smart Industry Conference. — IEEE, 2018. 7 p. doi: 10.1109/GloSIC.2018.8570105.
11. An overview of stress-strain analysis. <https://cdn.intechopen.com/pdfs/64342.pdf>.
12. solidDisplacementFoam.C file reference. [https://www.openfoam.com/documentation/cpp-guide/html/solidDisplacementFoam\\_8C.html](https://www.openfoam.com/documentation/cpp-guide/html/solidDisplacementFoam_8C.html).
13. Visual-CFD for OpenFOAM. <https://www.esi-group.com/software-solutions/virtual-environment/cfd-multiphysics/visual-cfd-openfoam>.
14. Salome. The Open Source Integration Platform for Numerical Simulation. <http://www.salome-platform.org>.
15. HELYX-OS. The market leading open-source GUI for OpenFOAM. <http://engys.com/products/helyx-os>.
16. Об установлении запрета на допуск программного обеспечения, происходящего из иностранных государств, для целей осуществления закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд: Постановление Правительства РФ от 16 ноября 2015 г. № 1236. <http://base.garant.ru/71252170>.
17. Новый виток импортозамещения. Куда бежать и что делать? <https://habr.com/company/croc/blog/424315>.
18. Прохоренок Н. А. Python 3 и PyQt. Разработка приложений. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 704 с.
19. May rating of programming languages ТИОБЕ. <https://tproger.ru/news/tiobe-may-2018>.
20. PyQt4 Reference Guide. <http://pyqt.sourceforge.net/Docs/PyQt4>.
21. ParaView. <https://www.paraview.org>.
22. OpenFOAM. User Guide. <http://foam.sourceforge.net/docs/Guides-a4/OpenFOAMUserGuide-A4.pdf>.
23. OpenFOAM. Tutorial Guide. <https://www.openfoam.com/documentation/tutorial-guide/index.php>.

24. stress\_analysis\_app. [https://github.com/DmitryChitalov/stress\\_analysis\\_app](https://github.com/DmitryChitalov/stress_analysis_app).
25. Искусство написания Bash-скриптов. [https://www.opennet.ru/docs/RUS/bash\\_scripting\\_guide](https://www.opennet.ru/docs/RUS/bash_scripting_guide).

*Поступила в редакцию 29.01.19*

---

---

**DEVELOPMENT OF AN APPLICATION  
WITH A GRAPHICAL USER INTERFACE FOR STRESS ANALYSIS  
BASED ON THE solidDisplayFoam SOLVER  
OF 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:** The purpose of this work is to develop software with a graphical interface for stress analysis based on the OpenFOAM software environment. A comparative description of the available software applications to solve this problem is given and its relevance is determined. The tools to achieve the goal are defined. The diagram of the structure and logic of the application is presented. The result of the study is the graphical application for carrying out stress analysis based on the OpenFOAM software environment. The program was tested on the example of one of the training tasks included in OpenFOAM. The provisions defining the scientific novelty of the research and its practical significance are formulated and a link is provided for downloading the program from the GitHub service. The results of the work are summed up and further research prospects are identified.

**Keywords:** numerical simulation; continuum mechanics; stress analysis; OpenFOAM; open source software; graphical user interface; Python programming language; PyQt4 library

**DOI:** 10.14357/08696527200115

## References

1. OpenFOAM. The open source CFD toolbox. Available at: <https://www.openfoam.com/> (accessed February 20, 2020).
2. Vozможности otkrytykh paketov dlya resheniya zadach mekhaniki sploshnoy sredy [Possibilities of open packages for solving problems of continuum mechanics]. Available at: <http://www.unicluster.ru/conf/2010/docs/Unicluster.Strizhak%20S.V.%20Kraposhin%20M.V.pdf> (accessed February 20, 2020).

3. Joint Stock Company “Academician V. P. Makeyev State Rocket Centre.” Available at: <http://www.makeyev.ru/> (accessed February 20, 2020).
4. Degtyar, V. G., V. I. Pegov, and E. S. Merkulov. 2013. Chislennoye modelirovaniye evolyutsii granitsy kaverny pri puske torpedy [Numerical modelling of the evolution of the boundary cavity when starting a torpedo]. *Vestn. YUUrGU. Ser. Matem. modelirovaniye i programirovaniye* [Bull. of the South Ural State University. Mathematical modelling, programming & Computer software ser.] 6(1):5–12.
5. Efimov, V. V., A. Y. Nazarov, and R. S. Nezametdinov. 2013. Nastroyka paketa prikladnykh programm OpenFOAM dlya chislenogo modelirovaniya obtekaniya gruzov na vneshey trosovoy podveske vertoleta [Tuning of the OpenFOAM program for numerical modeling of the cargo airflow on the helicopter external sling]. *Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoj aviatsii* [Civil Aviation High Technologies] 188:28–33.
6. Jayakumar, J. S., and V. P. Chithra. 2017. CFD analysis of heat transfer in simultaneously developing region of a square duct using OpenFOAM. *2nd Conference (International) for Convergence in Technology*. Mumbai. 1144–1149. doi: 10.1109/I2CT.2017.8226307.
7. Chitalov, D. I., Ye. S. Merkulov, and S. T. Kalashnikov. 2016. Razrabotka graficheskogo interfeysa pol’zovatelya dlya programmogo kompleksa OpenFOAM [Development of a graphical user interface for the OpenFOAM toolbox]. *Programmnyaya inzheneriya* [Software Engineering] 12:568–]574. doi: 10.17586/prin.7.568-574.
8. Chitalov, D. I., and S. T. Kalashnikov. 2018. Razrabotka prilozheniya dlya podgotovki raschetnykh setok s graduiruyushchimi i izognutymi krayami dlya programmoy 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.
9. Chitalov, D. I., and S. T. Kalashnikov. 2018. Razrabotka prilozheniya dlya podgotovki raschetnykh setok posredstvom utility snappyHexMesh programmoy sredy OpenFOAM [Developing an application for preparing calculation grids using the snappyHexMesh utility of the OpenFOAM software environment]. *Programmnyye produkty i sistemy* [Software & Systems] 31(4):715–722. doi: 10.15827/0236-235X.031.4.715-722.
10. Chitalov, D. I., and S. T. Kalashnikov. 2018. Development of user interface for OpenFOAM software environment used in design and technological subdivisions of machine-building enterprises. *Global Smart Industry Conference*. IEEE. 7 p. doi: 10.1109/GloSIC.2018.8570105.
11. An overview of stress-strain analysis. Available at: <https://cdn.intechopen.com/pdfs/64342.pdf> (accessed February 20, 2020).
12. solidDisplacementFoam.C file reference. Available at: [https://www.openfoam.com/documentation/cpp-guide/html/solidDisplacementFoam\\_8C.html](https://www.openfoam.com/documentation/cpp-guide/html/solidDisplacementFoam_8C.html) (accessed February 20, 2020).
13. Visual-CFD for OpenFOAM. Available at: <https://www.esi-group.com/software-solutions/virtual-environment/cfd-multiphysics/visual-cfd-openfoam> (accessed February 20, 2020).
14. Salome. The Open Source Integration Platform for Numerical Simulation. Available at: <http://www.salome-platform.org> (accessed February 20, 2020).



15. HELYX-OS. The market leading open-source GUI for OpenFOAM. Available at: <http://engys.com/products/helyx-os> (accessed February 20, 2020).
16. Ob ustanovlenii zapreta na dopusk programmnoy obespecheniya, proiskhodyashchego iz inostrannykh gosudarstv, dlya tseley osushchestvleniya zakupok dlya obespecheniya gosudarstvennykh i munitsipal'nykh nuzhd: Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 16 noyabrya 2015 No. 1236 [On the establishment of a ban on the admission of software, originating from foreign countries for the purpose of procurement for state and municipal needs: Government decree of 16 November 2015 No. 1236.]. Available at: <http://base.garant.ru/71252170> (accessed February 20, 2020).
17. Novyy vitok importozameshcheniya. Kuda bezhat' i chto delat'? [A new round of import substitution. Where to run and what to do?] Available at: <https://habr.com/company/croc/blog/424315> (accessed February 20, 2020).
18. Prokhorenok, N. A. 2012. *Python 3 i PyQt. Razrabotka prilozheniy* [Python 3 and PyQt. Application Development]. St. Petersburg: BHV-Petersburg. 704 p.
19. May rating of programming languages TIOBE. Available at: <https://tproger.ru/news/tiobe-may-2018> (accessed February 20, 2020).
20. PyQt4 reference guide. Available at: <http://pyqt.sourceforge.net/Docs/PyQt4> (accessed February 20, 2020).
21. ParaView. Available at: <https://www.paraview.org> (accessed February 20, 2020).
22. OpenFOAM. User guide. Available at: <http://foam.sourceforge.net/docs/Guides-a4/OpenFOAMUserGuide-A4.pdf> (accessed February 20, 2020).
23. OpenFOAM. Tutorial guide. Available at: <https://www.openfoam.com/documentation/tutorial-guide/index.php> (accessed February 20, 2020).
24. stress\_analysis\_app. Available at: [https://github.com/DmitryChitalov/stress\\_analysis\\_app](https://github.com/DmitryChitalov/stress_analysis_app) (accessed February 20, 2020).
25. 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 February 20, 2020).

*Received January 29, 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)

## НОРМАЛИЗОВАННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ: ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВАЛЮТНОГО РЫНКА

А. В. Ильин<sup>1</sup>, В. Д. Ильин<sup>2</sup>

**Аннотация:** Представлено ядро цифровых технологий поливалютного рынка нормализованного экономического механизма (НЭМ). В модели НЭМ экономическая составляющая суверенитета государства определяется установленной законами системой правил экономической деятельности, включая правила поливалютных сделок, государственных сборов, формирования и использования средств государственного бюджета. Внешнеторговый рынок любой пары стран определен некоторым множеством типов товаров (обмен которыми допустим в соответствии с внешнеторговым договором), множеством применимых для расчетов валют, таможенными правилами и правилами внешнеторговых сборов. Для каждого типа товара цифровые технологии поливалютного рынка предоставляют участникам экономической деятельности возможность совершать сделки в любой валюте из списка, являющегося пересечением множеств валют, разрешенных банками-регуляторами государств, к которым относятся участники сделки. При этом товарные емкости валют применительно к каждому товару изменяются в зависимости от рыночной ситуации, налоги и пошлины уплачиваются в валютах, используемых в экономических сделках, а технология долговой торговли служит средством, стимулирующим продажи товаров с оплатой в национальной валюте. Важным средством экономической безопасности НЭМ служит технология назначенных платежей.

**Ключевые слова:** нормализованный экономический механизм; поливалютный рынок; технологии поливалютного рынка; технология электронной долговой торговли; технология назначенных платежей

DOI: 10.14357/08696527200116

### 1 Введение

Современные информационные технологии — средство воплощения задуманных моделей поведения в цифровой среде. Подтверждая основные положения модели *нормализованного экономического механизма* [1, 2], быстрыми темпами развиваются онлайн-сервисы в торговле, банковской и других областях деятельности. В экономической деятельности интенсивно растет применение систем искусственного интеллекта (технического зрения, распознавания речи и др.),

---

<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)

интернета вещей (*англ.* Internet of Things, IoT), роботов (в промышленности<sup>1</sup>, добывающих компаниях<sup>2</sup>, сельском хозяйстве<sup>3</sup> и других областях деятельности). Неуклонно усиливается зависимость социально-экономического развития страны от продуктивного применения *цифровых информационных технологий* (далее — *цифровизации*) для совершенствования ключевых видов деятельности (научной, образовательной, производственной и др.) [3–5]. Растет число стран, с которыми Россия заключает соглашения о применении национальных валют в торговых сделках. Развитие банковских электронных сервисов и сервисов платежных систем приближает дни, когда привычной станет увеличивающая экономическую безопасность сделок *технология назначенных платежей* [6], а смартфоны и планшеты будут выполнять роли *персональных электронных банков (ПЭБов)* (впервые предложенных в [7, с. 126]) и *корпоративных электронных банков (КЭБов)* [1, 2]. Есть основания полагать, что значительную роль в совершенствовании товарно-денежного обращения сыграет *технология электронной долговой торговли*, при которой отсроченная часть оплаты товара оформляется как *долг покупателя* (не банку!) *продавцу, имеющему КЭБ или ПЭБ* [8]. Признание определяющей связи эффективности хозяйственной и других видов современной деятельности с применением современных информационных технологий выражено в программе «Цифровая экономика Российской Федерации»<sup>4</sup>.

Современное инфраструктурное ядро цифровизации включает технологии цифровых двойников (*англ.* digital twins) [9], облачных вычислений (*англ.* cloud computing) [10–13], электронных сервисов [14–16], интернета вещей [17, 18] и M2M-технологии (*англ.* machine-to-machine technology) [19, 20]. Дешевеет и становится более доступной 3D-печать, превращаясь в целесообразную технологию изготовления разнообразных изделий. Рост промышленного применения 3D-печати влияет на формирование складских запасов (если заказанные изделия можно оперативно 3D-распечатать). Совершенствующиеся технологии промышленной 3D-печати изменяют подход к построению предприятий: рассчитанные на фиксированный набор продуктов вытесняются адаптирующимися к запросам заказчиков<sup>4</sup>.

**Обсуждаемые результаты.** В статье представлена часть результатов развития методологии нормализации товарно-денежного обращения НЭМ. Результаты получены при выполнении научно-исследовательской работы «Моделирование социальных, экономических и экологических процессов» (№ 0063-2016-0005),

<sup>1</sup>Применение промышленных роботов: популярные направления роботизации // MENTA-MORE. <https://mentamore.com/robototexnika/primenenie-promyshlennyx-robotov.html>.

<sup>2</sup>Бойко А. Добывающие компании и роботизация // RoboTrends. <http://robotrends.ru/robopeedia/1711-dobyvayushie-kompanii-i-robotizaciya>.

<sup>3</sup>Бойко А. Сельское хозяйство и роботы // RoboTrends. <http://robotrends.ru/robopeedia/selskoe-hozyaystvo-i-roboty>.

<sup>4</sup>10 Breakthrough Technologies. MIT Technology Review. <https://www.technologyreview.com/lists/technologies/2018>.

выполняемой в соответствии с государственным заданием ФАНО России для Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН.

**Запись формул и выделение фрагментов текста.** Для записи формул, выделения определений и замечаний далее используются средства языка TSM-комплекса (textual symbolic modeling), разработанного для формализованного описания текстовых моделей<sup>1</sup>.

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.

## 2 Характеристика нормализованного экономического механизма

□ *Нормализованный экономический механизм* — это рыночный экономический механизм, технологии работы которого реализуют задачи комплексов НЭМ (см. рисунок) посредством онлайн-сервисов, функционирующих в среде цифровых двойников [1, 2, 6, 8]. Представляет собой человеко-техническую систему, связанную отношениями координации и подчинения с государственным механизмом [21, 22]. □

□ *Цифровые двойники* — самообучающиеся символичные модели произвольных объектов (производственных, торговых и др.). Они позволяют осуществлять

Название комплекса НЭМ	
Управление экономической деятельностью	Ресурсное обеспечение
	Производство товаров
	Торговля
	Резервирование жизненно-необходимых товаров
	Инвестирование
	Государственный бюджет, резервы, налоги, пошлины
	Региональные бюджеты и налоги
	Профессиональное образование и развитие населения
	Развитие систем организации и обеспечения жизнедеятельности
	Восстановление и развитие среды обитания
	Фонды социального обеспечения
	Документирование товарно-денежного обращения и имущественных статусов

Основные комплексы НЭМ

<sup>1</sup>Ильин В. Д. Символьное моделирование // Большая Российская энциклопедия, 2019. [Электронный ресурс]. [http://dev.bigenc.ru/technology\\_and\\_technique/text/4010980](http://dev.bigenc.ru/technology_and_technique/text/4010980).

мониторинг моделируемого объекта (○ платежной системы ○) на основе обмена данными между объектом и его цифровым двойником. Различают *цифровые двойники-прототипы* (Digital Twin Prototype, DTP), *цифровые двойники-экземпляры* (Digital Twin Instance, DTI) и *цифровые агрегированные двойники* (Digital Twin Aggregate, DTA): DTP предназначен для создания физической версии объекта (○ онлайн-сервиса платежной системы ○); DTI — модель существующего объекта, с которым DTI предназначено взаимодействовать (○ модель мобильного терминала платежной системы ○); DTA — комплекс средств обработки данных, предназначенный для взаимодействия с заданной совокупностью DTI (○ являющейся моделью платежной системы ○).

◇ В НЭМ стремление *участников экономической деятельности (эд-участников)* к получению экстерриториальной выгоды поддерживается в тех случаях, когда сделка (купи-продажи, инвестирования или др.) не противоречит решению задач защиты и развития потенциала страны.<sup>1</sup>

НЭМ-комплекс *управления экономической деятельностью* определяет цели и реализующие их задачи развития НЭМ и его компонентов; координирует решение этих задач. ◇ Занятость трудоспособного населения — одна из постоянно актуальных задач управления экономической деятельностью. Ее приемлемое решение требует пересмотра технологий производства и реализации товаров. Чем выше стоимость товара, тем меньше оснований производить его, не имея договора о заказе и поставке. *Производство под заказ*, поддерживаемое технологиями *назначенных платежей* [6] и *электронной долговой торговли* [8] — эффективная альтернатива *производству на склад*. ◇ НЭМ-комплексы *ресурсного обеспечения и производства товаров* — ключевые комплексы НЭМ. В дополнение к государственному резервированию целесообразно развивать сеть хранилищ негосударственного резерва *жизненно-необходимых товаров (жн-товаров)*. ◇ Управление резервированием жн-товаров (включая плановое обновление резервов путем продажи на внутреннем и внешнем рынках) — важная задача, результаты решения которой связаны с изменчивостью цен. ◇

Ядром комплекса *документирования товарно-денежного обращения и имущественных статусов эд-участников* является *система имущественных статусов*.

*Специфицированные имущественные объекты* нормализованной экономической системы (*си-объекты*) — принадлежащие физическим и юридическим лицам средства производства, реализации и резервирования товаров; средства документирования, а также предметы потребления, зарегистрированные в экономической системе. ◇ Услуги — один из видов предметов потребления. ◇ ○ Трудозатраты учителей школ, преподавателей вузов и других учебных заведений — услуги, потребляемые в образовательных процессах. ○ □ Товар — продаваемый си-объект. □ ◇ Каждому товару поставлена в соответствие электронная унифици-

<sup>1</sup> *Plyin V. D.* What should be the main objectives of state regulation of economic activity in countries with developed market economies? // ResearchGate.net, 2014.

цированная спецификация, в которой указано наименование товара, назначение и другие сведения. ◇

## 2.1 Система имущественных статусов

□ Система имущественных статусов (*ис-система*) — система документального представления денежной и неденежной составляющих имущественных статусов эд-участников. Денежная составляющая выражена значениями сумм нормализованных денег в разделах *уникальных поливалютных счетов эд-участников (ис-счетов)*. Неденежная — документами, подтверждающими право собственности на недвижимость, транспорт и другое имущество, которое при необходимости может рассматриваться как залоговое. □

□ *Ис-счет* — уникальный поливалютный банковский счет, размещенный в ПЭБе физического лица или КЭБе юридического лица. Представляет собой унифицированный электронный документ, состоящий из *валютных частей* (активируемых банком-регулятором). Поскольку ис-счет имеет *поливалютную структуру*, он применим для документирования результатов внутренней и внешней экономической деятельности. □

## 2.2 Аксиома допустимости операции над ис-счетом

□ *Никакое изменение сумм ис-счета не может быть осуществлено без документированного зашифрованного подтверждения владельца ис-счета* (а в неординарных ситуациях — после документированного зашифрованного подтверждения определенного законом государственного органа). □ В НЭМ это реализуется на программно-аппаратном уровне. Изменение состояния *ис-счета* может быть реализовано только после получения *удостоверения допустимости операции* над ис-счетом. Удостоверение выдает специальный онлайн-сервис банка-регулятора. Основанием для получения удостоверения служат данные спецификации совершаемой операции (○ платеж при сделке купли-продажи, уплате государственного сбора или др. ○). Таким способом исключаются возможности нарушения установленных законом правил товарно-денежного обращения (недопустимые экономические сделки, неуплата установленных законом государственных сборов и др.).

## 2.3 Нормализованные деньги и банковская система

□ *Нормализованные деньги (нд)* — универсальное электронное средство количественного документирования имущественных отношений, удостоверяемых государством. Предназначено для представления стоимости товаров и имущественных статусов эд-участников, для оплаты товаров, инвестирования и накопления богатства. *Нд-суммы* представлены записями в ис-счетах, отражающими

денежно выраженные величины имущественного права и имущественных обязательств. Для представления значений нд-сумм используются вещественные числа с соответствующим знаком (минус — для сумм, которые предстоит вернуть; плюс — для полученных сумм). □

*Универсальность нд* выражается в применимости во всех внутренних и внешних экономических сделках, разрешенных законом государства, под юрисдикцией которого функционирует экономическая система.

*Банковская система НЭМ (нормализованная банковская система)* включает персональные электронные банки физических лиц, корпоративные электронные банки, банки-провайдеры и банк-регулятор, под управлением которого функционируют все другие банки. *Банк-регулятор* располагает сетью серверов, размещенных на территории страны, под юрисдикцией которой находится экономическая система. *Банки-провайдеры* — коммерческие предприятия, учрежденные юридическими лицами (или объединениями юридических лиц, объединениями физических лиц, объединениями юридических и физических лиц), занимающимися производством товаров и/или их реализацией. Банк-провайдер располагает объединенными в сеть серверами, предназначенными для обслуживания запросов от ПЭБов и КЭБов клиентов и взаимодействия с серверами банка-регулятора. Персональные и корпоративные электронные банки (как программно-аппаратные средства) — это, как правило, переносные устройства типа планшетов и смартфонов, наделенные надежно защищенными коммуникационными функциями. В ПЭБах и КЭБах в зашифрованной форме хранятся оригиналы ис-счетов и документов по сделкам. Зашифрованная база данных ис-счета хранится в памяти устройства, а ее копия — на карте памяти. Программно реализуемые записи в файлах ис-счетов имеют право инициировать только владельцы ис-счетов, совершающие сделку. Запросы на обслуживание сделки (удостоверение состояния ис-счета и сохранение обновленной копии ис-счета) получают банки-провайдеры, сервисами которых пользуются совершающие сделку эд-участники.

### 3 Поливалютный рынок: концептуальное ядро цифровых технологий

□ *Цифровой технологией* определенной деятельности на поливалютном рынке назовем совокупность методов, средств и правил ее реализации посредством онлайн-сервисов, работающих в *среде цифровых двойников*. □ ◇ Далее под *технологией* понимается *цифровая технология*. ◇

Исходим из того, что рассматриваемые здесь *технологии поливалютного рынка* (при квалифицированной реализации) при любой попытке нарушить установленные правила экономического поведения оставляют столько же шансов на успех, сколько имеет попытка сделать недопустимый ход в игре с шахматной программой.

В концепции поливалютного рынка НЭМ технологии внешнеэкономических сделок функционируют исходя из того, что для любой пары стран на каждом



отрезке времени определено некоторое множество товаров, множество применимых для расчетов валют, таможенные правила и правила внешнеторговых сборов. Для каждого типа товара эд-участники имеют возможность совершать сделки в любой валюте из списка, являющегося пересечением множеств валют, разрешенных банками-регуляторами государств, к которым относятся участники сделки. ◇ При этом применительно к каждому товару товарные емкости валют изменяются в зависимости от рыночной ситуации, а налоги и пошлины уплачиваются в валютах, используемых в экономических сделках. ◇

### 3.1 Технология электронной долговой торговли

При *электронной долговой торговле* все выгоды и риски разделяют продавец и покупатель, а стоимость кредита упакована в стоимость покупки. Технология электронной долговой торговли обеспечивает оформление отсроченной части оплаты товара как *долга покупателя продавцу, имеющему КЭБ или ПЭБ*. Неоплаченная часть стоимости товара оформляется как долг, график выплаты которого фиксируется в договоре. В этом же договоре указываются штрафные санкции за нарушение графика выплат долга и ненадлежащее качество проданного товара. Применительно к долгам, образовавшимся в результате продажи приоритетных товаров, могут действовать правила досрочного возврата долгов продавцам из средств банка-регулятора. Делается это по запросам продавцов в *долговой отдел банка-регулятора*, направляемых с использованием онлайн-сервиса. При положительном решении на ис-счет продавца переводится сумма долга (полностью или частично), а после этого покупатель выплачивает эту сумму не продавцу, а долговому отделу банка-регулятора. О возможности такой схемы возврата долга покупатель извещается продавцом до реализации сделки.

◇ Досрочным возвратом долгов продавцам приоритетных товаров банк-регулятор реализует текущую государственную программу поддержки производства и продажи таких товаров. На поливалютном рынке НЭМ электронная долговая торговля служит средством, стимулирующим продажи приоритетных товаров с оплатой в национальной валюте: возможность в относительно короткие сроки получить долговую часть стоимости товаров существует у продавцов в тех случаях, когда товары оплачены национальной валютой. ◇

### 3.2 Технология долговой денежной эмиссии

□ *Денежная эмиссия* выполняется банком-регулятором только тогда, когда сумма долгов, возвращенных покупателями долговому отделу, меньше очередной долговой суммы, запрошенной для возврата продавцу. Эмитируемая сумма равна разности запрошенной долговой суммы и суммы на счету долгового отдела. □

Долговая денежная эмиссия служит средством *государственного регулирования общей суммы денег в экономической системе*. Таким способом осуществляется государственное регулирование товарной емкости денег.



### 3.3 Технология назначенных платежей

□ *Назначенный платеж* — технологически гарантированная оплата заказанных товаров, правила реализации которой жестко связаны с правилами исполнения заказа. Сумма назначенного платежа переводится на счет получателя сразу после того, как заказчик подтвердил исполнение заказа. В случае неисполнения заказа назначенный платеж отменяется. □

Назначенный платеж не может быть сформирован, если заказ содержит товары, не отнесенные к допустимым. Контроль осуществляется цифровыми двойниками, обеспечивающими функционирование сервисов контроля допустимости заказа. Реализация технологии обеспечивается онлайн-сервисами банков, функционирующими в среде цифровых двойников, которые моделируют состояние платежной системы и процесса исполнения заказа.

## 4 Заключение

1. Рассмотрены обновления концептуальных основ цифровых технологий поливалютного рынка НЭМ. Уточнен ряд определений концепции товарно-денежного обращения, включая *аксиому допустимости операции над ис-четом*.
2. Регулирование товарной емкости денег в НЭМ осуществляется посредством технологии *долговой денежной эмиссии*, реализация которой в цифровой среде исключает эмиссию денежных сумм, не обеспеченных товарами.
3. Ключевые роли в построении поливалютного рынка НЭМ принадлежат *технологии электронной долговой торговли и технологии назначенных платежей в среде цифровых двойников*.
4. Применение *персональных и корпоративных электронных банков* рассматривается как радикальное средство повышения экономической безопасности сделок на поливалютном рынке.

## Литература

1. *Ilyin A. V., Ilyin V. D.* 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.
2. *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.
3. *Lasi H., Fettke P., Kemper H. G., et al.* Application-pull and technology-push as driving forces for the Fourth Industrial Revolution // *Bus. Inf. Syst. Eng.*, 2014. Vol. 6. Iss. 4. P. 239–242. doi: 10.1007/s12599-014-0334-4.
4. *Li Lan-bing, Liu Bing-lian, Liu Wei-lin, et al.* Efficiency evaluation of the regional high-tech industry in China: A new framework based on meta-frontier dynamic DEA analysis // *Socio-Econ. Plan. Sci.*, 2017. Vol. 60. P. 26–33. doi: 10.1016/j.seps.2017.02.001.

5. Skog D. A., Wimelius H., Sandberg J. Digital disruption // *Bus. Inf. Syst. Eng.*, 2018. Vol. 60. Iss. 5. P. 431–437. doi: 10.1007/s12599-018-0550-4.
6. Ильин В. Д. Технология назначенных платежей в среде цифровых двойников // *Системы и средства информатики*, 2018. Т. 28. № 3. С. 227–235.
7. Ильин В. Д. Модель нормализованной экономики (НЭК-модель): основы концепции // *Управление большими системами*, 2009. Вып. 25. С. 116–138.
8. 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.
9. 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).
10. Armbrust M., Fox A., Griffith R., et al. A view of cloud computing // *Commun. ACM*, 2010. Vol. 53. Iss. 4. P. 50–58. doi: 10.1145/1721654.1721672.
11. Wang L., Laszewski G., Younge A., et al. Cloud computing: A perspective study // *New Generat. Comput.*, 2010. Vol. 28. Iss. 2. P. 137–146. doi: 10.1007/s00354-008-0081-5.
12. Rogers O., Cliff D. A financial brokerage model for cloud computing // *J. Cloud Computing*, 2012. Vol. 1. Iss. 1. P. 1–12. doi: 10.1186/2192-113X-1-2.
13. Jamsa K. A. *Cloud computing*. — Burlington: Jones & Bartlett Learning, 2013. 322 p.
14. Wei Y., Blake M. B. Service-oriented computing and cloud computing: Challenges and opportunities // *IEEE Internet Computing*, 2010. No. 14. P. 72–75. doi: 10.1109/MIC.2010.147.
15. Ильин А. В. Интернет-сервис планирования расходов // *Системы и средства информатики*, 2015. Т. 25. № 2. С. 111–122. doi: 10.14357/08696527150207.
16. Jede A., Teuteberg F. Understanding socio-technical impacts arising from software-as-a-service usage in companies // *Bus. Inf. Syst. Eng.*, 2016. Vol. 58. Iss. 3. P. 161–176. doi: 10.1007/s12599-016-0429-1.
17. «Интернет вещей» (IoT) в России. Технология будущего, доступная уже сейчас. — PwC, 2017. [https://www.pwc.ru/ru/publications/iot/loT-in-Russia-research\\_rus.pdf](https://www.pwc.ru/ru/publications/iot/loT-in-Russia-research_rus.pdf).
18. Perera C., Liu C. H., Jayawardena S. The emerging Internet of Things marketplace from an industrial perspective: A survey // *IEEE T. Emerging Topics Computing*, 2015. Vol. 3. Iss. 4. P. 585–598. doi: 10.1109/TETC.2015.2390034.
19. Kim R. Y. Efficient wireless communications schemes for machine to machine communications // *Comm. Com. Inf. Sc.*, 2011. Vol. 181. Iss. 3. P. 313–323. doi: 10.1007/978-3-642-22203-0\_28.
20. Lien S. Y., Liao T. H., Kao C. Y., et al. Cooperative access class barring for machine-to-machine communications // *IEEE T. Wirel. Commun.*, 2012. Vol. 11. Iss. 1. P. 27–32. doi: 10.1109/TWC.2011.111611.110350.
21. Ильин В. Д. Основания ситуационной информатизации. — М.: Наука, Физматлит, 1996. 180 с.
22. Ilyin A. V., Ilyin V. D. Situational management: Review of the results relevant to the development of online services for e-government and e-business // *Информационные технологии и вычислительные системы*, 2018. № 4. С. 45–54. doi: 10.14357/20718632180405.

Поступила в редакцию 03.02.20

## THE NORMALIZED ECONOMIC MECHANISM: DIGITAL TECHNOLOGIES OF THE MULTICURRENCY MARKET

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 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** The review presents the core of the multicurrency market digital technologies of the normalized economic mechanism (NEM). In the NEM model, the economic component of state sovereignty is determined by the system of rules for economic activity established by law, including the rules of multicurrency deals, state fees, formation, and usage of the state budget funds. The foreign trade market for any pair of countries is defined by a certain set of goods types (the exchange of which is permissible in accordance with a foreign trade agreement), by the set of currencies applicable for trade, customs rules, and rules of foreign trade fees. For each type of goods, digital technologies of the multicurrency market provide the economic activity participants with the opportunity to make transactions in any currency from the list that is the intersection of the sets of currencies allowed by the banks-regulators of the states to which the participants belong. At the same time, the commodity capacities of currencies for each product vary depending on the market situation; taxes and duties are paid in the currencies used in economic deals; and the technology of e-trade with direct lending serves as a means of stimulating sales for the national currency. An important means of the NEM security is the designated payments technology.

**Keywords:** normalized economic mechanism; multicurrency market; multicurrency market technologies; technology of e-trade with direct lending; designated payments technology

**DOI:** 10.14357/08696527200116

### References

1. 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.
2. 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.
3. Lasi, H., P. Fettke, H. G. Kemper, *et al.* 2014. Application-pull and technology-push as driving forces for the Fourth Industrial Revolution. *Bus. Inf. Syst. Eng.* 6(4):239–242. doi: 10.1007/s12599-014-0334-4.
4. Li, Lan-bing, Bing-lian Liu, Wei-lin Liu, *et al.* 2017. Efficiency evaluation of the regional high-tech industry in China: A new framework based on meta-frontier dynamic DEA analysis. *Socio-Econ. Plan. Sci.* 60:26–33. doi: 10.1016/j.seps.2017.02.001.

5. Skog, D. A., H. Wimelius, and J. Sandberg. 2018. Digital disruption. *Bus. Inf. Syst. Eng.* 60(5):431–437. doi: 10.1007/s12599-018-0550-4.
6. Ilyin, V. D. 2018. Tekhnologiya naznachennykh platezhey v srede tsifrovyykh dvoynikov [Designated payments technology in digital twins environment]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 28(3):227–235. doi: 10.14357/08696527180318.
7. Ilyin, V. D. 2009. Model' normalizovannoy ekonomiki (NEk-model'): osnovy kontseptsii [The model of normalized economics (NEc-model): Basics of framework]. *Upravlenie bol'shimi sistemami* [Large-Scale Systems Control] 25:116–138.
8. 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.
9. General Electric. 2018. The digital twin. Available at: [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) (accessed February 1, 2020).
10. Armbrust, M., A. Fox, R. Griffith, *et al.* 2010. A view of cloud computing. *Commun. ACM* 53(4):50–58. doi: 10.1145/1721654.1721672.
11. Wang, L., G. Laszewski, A. Younge, *et al.* 2010. Cloud computing: A perspective study. *New Generat. Comput.* 28:137–146. doi: 10.1007/s00354-008-0081-5.
12. Rogers, O., and D. Cliff. 2012. A financial brokerage model for cloud computing. *J. Cloud Computing* 1(1):1–12. doi: 10.1186/2192-113X-1-2.
13. Jamsa, K. A. 2013. *Cloud computing*. Burlington: Jones & Bartlett Learning. 322 p.
14. Wei, Y., and M. B. Blake. 2010. Service-oriented computing and cloud computing: Challenges and opportunities. *IEEE Internet Comput.* 14:72–75. doi: 10.1109/MIC.2010.147.
15. Ilyin, A. V. 2015. Internet-servis planirovaniya raskhodov [The online service for cost planning]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 25(2):111–122. doi: 10.14357/08696527150207.
16. Jede, A., and F. Teuteberg. 2016. Understanding socio-technical impacts arising from software-as-a-service usage in companies. *Bus. Inf. Syst. Eng.* 58(3):161–176. doi: 10.1007/s12599-016-0429-1.
17. PWC. 2017. “Internet veshchey” (IoT) v Rossii. Tekhnologiya budushchego, dostupnaya uzhe seychas [“Internet of things” (IoT) in Russia. Technology of the future, available now]. Available at: [https://www.pwc.ru/ru/publications/iot/IoT-inRussia-research\\_rus.pdf](https://www.pwc.ru/ru/publications/iot/IoT-inRussia-research_rus.pdf) (accessed February 1, 2020).
18. Perera, C., C. H. Liu, and S. Jayawardena. 2015. The emerging Internet of Things marketplace from an industrial perspective: A survey. *IEEE T. Emerging Topics Computing* 3(4):585–598. doi: 10.1109/TETC.2015.2390034.
19. Kim, R. Y. 2011. Efficient wireless communications schemes for machine to machine communications. *Comm. Com. Inf. Sc.* 181(3):313–323. doi: 10.1007/978-3-642-22203-0\_28.
20. Lien, S. Y., T. H. Liao, C. Y. Kao, *et al.* 2012. Cooperative access class barring for machine-to-machine communications. *IEEE T. Wirel. Commun.* 11(1):27–32. doi: 10.1109/TWC.2011.111611.110350.
21. Ilyin, V. D. 1996. *Osnovaniya situatsionnoy informatizatsii* [Fundamentals of situational informatization]. Moscow: Nauka, Fizmatlit. 180 p.

22. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2018. Situational management: Review of the results relevant to the development of online services for e-government and e-business. *Informatsionnyye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy* [J. Information Technologies and Computing Systems] 4:45–54. doi: 10.14357/20718632180405.

*Received February 3, 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

**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 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; vdilyin@yandex.ru

---

## 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

**Борисов Андрей Владимирович** (р. 1965) — доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Босов Алексей Вячеславович** (р. 1969) — доктор технических наук, главный 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

**Гаранин Александр Иванович** (р. 1951) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Грушо Александр Александрович** (р. 1946) — доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Грушо Николай Александрович** (р. 1982) — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Егоров Владимир Борисович** (р. 1948) — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Жуков Денис Владимирович** (р. 1979) — главный специалист 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

**Иванов Алексей Владимирович** (р. 1976) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник 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

**Кириков Игорь Александрович** (р. 1955) — кандидат технических наук, директор Калининградского филиала Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Ковалёв Сергей Протасович** (р. 1972) — доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук

**Королёв Вадим Иванович** (р. 1943) — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук; профессор Финансового университета при Правительстве Российской Федерации

**Кривенко Михаил Петрович** (р. 1946) — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Листопад Сергей Викторович** (р. 1984) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Калининградского филиала Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Никишин Дмитрий Александрович** (р. 1976) — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Николаев Андрей Владимирович** (р. 1973) — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Федерального исследовательского центра химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук

**Нурiev Виталий Александрович** (р. 1980) — кандидат филологических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики 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

**Писковский Виктор Олегович** (р. 1963) — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Сенчило Владимир Викторович** (р. 1963) — научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Синицын Владимир Игоревич** (р. 1968) — доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Синицын Игорь Николаевич** (р. 1940) — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Скворцов Николай Алексеевич** (р. 1973) — научный сотрудник Института проблем информатики 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

**Сушко Дмитрий Викторович** (р. 1962) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Тимонина Елена Евгеньевна** (р. 1952) — доктор технических наук, профессор, 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





**Рустем Бадриевич Сейфуль-Мулюков**

**1928–2020**

Редакционная коллегия и редакция журнала «Системы и средства информатики» с глубоким прискорбием сообщают, что 17 марта 2020 года на 93-м году жизни скончался член редколлегии журнала «Системы и средства информатики», заведующий редакцией журнала, главный научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук Рустем Бадриевич Сейфуль-Мулюков.

Всю свою жизнь Рустем Бадриевич посвятил служению науке. Закончив в 1956 г. аспирантуру Московского ордена Трудового Красного знамени Нефтяного института им. академика И. М. Губкина, он прошел путь от заведующего отделом Института геологии зарубежных стран Министерства геологии СССР до заместителя директора ВИНТИ АН СССР, доктора геолого-минералогических наук, профессора.

С марта 2002 г. Рустем Бадриевич успешно применял свои знания и организационный талант в ИПИ РАН (в дальнейшем — ФИЦ ИУ РАН), в котором руководил лабораторией и отделом, занимающимися вопросами технологий информационной технической деятельности. Р. Б. Сейфуль-Мулюков, являясь автором значительного количества научных трудов и монографий по геологии, информационным технологиям и теоретической информатике, осуществлял организацию издания монографий ИПИ РАН и ФИЦ ИУ РАН, библиографий научных сотрудников Центра.

Р. Б. Сейфуль-Мулюков являлся заведующим редакцией журналов «Информатика и её применения» и «Системы и средства информатики», членом редколлегии журнала «Системы и средства информатики». Он вложил огром-

ный вклад в становление и развитие этих журналов, организацию их регистрации, функционирования, редактуры и издания. Включение этих журналов в ряд отечественных и зарубежных информационных баз и систем цитирования во многом является его личной заслугой.

На всех занимаемых должностях Рустем Бадриевич отличался высоким профессионализмом, преданностью делу и вниманием к коллегам.

Рустема Бадриевича отличали доброта, отзывчивость, неиссякаемый оптимизм, простота и сердечность.

Коллеги Рустема Бадриевича запомнят его как многогранного в своих увлечениях человека, живописца, эрудита и энциклопедиста, интересующегося историей, литературой и искусством.

Выражаем глубокое соболезнование семье, родственникам, друзьям и коллегам по работе в связи с тяжелой невосполнимой утратой. Светлый образ Рустема Бадриевича навсегда сохранится в нашей памяти.

---

## 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 15 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. *Rus. 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 Publ. 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. — N.Y.: Wiley, 1974. 521 p.)

2. В англоязычной части:

Timoshenko, S. P., D. H. Young, and W. Weaver. 1974. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. N.Y.: 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 kompaktnyy tor [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus]. D.Sc. Diss. Moscow. 272 p.

Kozhunova, O. S. 2009. Tekhnologiya razrabotki semanticheskogo slovarya informatsionnogo 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. 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.

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. *Rus. 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 Pubs. 352 p.

**Dissertation and Thesis:**

Kozhunova, O. S. 2009. Tekhnologiya razrabotki semanticheskogo slovaryaya informat-sionnogo monitoringa [Technology of development of semantic dictionary of information monitoring system]. PhD Thesis. Moscow: IPI RAN. 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 Pubs. 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.1 Year 2020**

**Editor-in-Chief and Chair of Editorial Council**  
Academician I. A. Sokolov

## IN THIS ISSUE:

FILTERING AND EXTRAPOLATION IN MIGRATIONAL-POPULATIONAL STOCHASTIC SYSTEMS <i>I. N. Sinitsyn and V. I. Sinitsyn</i>	4
DOMAIN SPECIFICATIONS FOR DATA-INTENSIVE PROBLEM SOLVING IN NEUROPHYSIOLOGY <i>N. A. Skvortsov</i>	20
BAYESIAN CLASSIFICATION OF SERIAL MULTIVARIATE DATA <i>M. P. Krivenko</i>	34
GENERATION OF THREATS IN HETEROGENEOUS SYSTEMS OF DIGITAL ECONOMY <i>A. A. Grusho, N. A. Grusho, A. V. Nikolaev, V. O. Piskovski, V. V. Senchilo, and E. E. Timonina</i>	46
AGENT CONFLICT IDENTIFICATION METHOD IN HYBRID INTELLIGENT MULTIAGENT SYSTEMS <i>S. V. Listopad and I. A. Kirikov</i>	56
INFORMATION ARCHITECTURE OF THE POWER SYSTEM DIGITAL TWIN <i>S. P. Kovalyov</i>	66
MULTICORE AND MULTITHREADING PECULIARITIES IN NETWORK PROCESSORS <i>V. B. Egorov</i>	82
ANALYSIS OF THE IMPACT OF RELIABILITY INDICATORS EQUIPMENT OF SITUATION CENTERS ON INFORMATION SECURITY <i>A. A. Zatsarinny, V. I. Korolev, and A. I. Garanin</i>	93
DESCRIPTION OF DIGITAL ECONOMY DYNAMICS USING AN ELECTRONIC LEDGER <i>A. A. Grusho, A. A. Zatsarinny, and E. E. Timonina</i>	108