

ISSN 2518-1092

НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

RESEARCH RESULT. INFORMATION TECHNOLOGY

10(2) 2025

16+

Сайт журнала:
rinformation.ru
сетевой научный рецензируемый журнал
online scholarly peer-reviewed journal



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

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



Том 10, № 2. 2025

СЕТЕВОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2016 г.

ISSN 2518-1092



Volume 10, № 2. 2025

ONLINESCHOLARLYPEER-REVIEWED JOURNAL

First published online: 2016

ISSN 2518-1092

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: **Черноморец А.А.**, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: **Жухарев А.Г.**, доктор технических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических систем Белгородского государственного национального исследовательского университета.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ: **Болгова Е.В.**, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Басов О.О., доктор технических наук, доцент, руководитель центра искусственного интеллекта (Акционерное общество «АСТ»), г. Санкт-Петербург)

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

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

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

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

Калмыков И.А., доктор технических наук, профессор (Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь)

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

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

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

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

Орлова Ю.А., доктор технических наук, доцент (Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград)

Таранчук В.Б., доктор физико-математических наук, профессор, (Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь)

EDITORIAL TEAM:

EDITOR-IN-CHIEF: **Andrey A. Chernomorets**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Belgorod State National Research University
DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF: **Alexander G. Zhikharev**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University
EXECUTIVE SECRETARY: **Evgeniya V. Bolgova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University
ENGLISH TEXT EDITOR: **Igor V. Lyashenko**, Ph.D. in Philology, Associate Professor

EDITORIAL BOARD:

Oleg O. Basov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)
Sergey P. Belov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)
Valery P. Volchkov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)
Valery D. Dmitrienko, Doctor of Technical Sciences, Professor (Ukraine)
Olga A. Ivaschuk, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)
Igor A. Kalmykov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)
Nikolay I. Korsunov, Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)
Alexander V. Koskin, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)
Vadim A. Lomazov, Doctor of Physico-mathematical Sciences, Professor (Russia)
Sergey I. Matorin, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)
Yulia A. Orlova, Doctor of Technical Science, Associate Professor (Russia)
Valery B. Taranchuk, Doctor of Physico-mathematical Sciences, Professor (Belarus)

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES

Бердюгин П.С., Жиляков Е.Г., Прохоренко Е.И., Медведева А.А., Сидоренко И.А. Оптимальная обработка сигналов и изображений на основе субполосных представлений. Основы математического аппарата	3	Berdyugin P.S., Zhilyakov E.G., Prokhorenko E.I., Medvedeva A.A., Sidorenko I.A. Optimal signal and image processing based on subband representations. Fundamentals of the mathematical framework	3
Баландин О.С., Беляева И.Н., Чеканов Н.А., Чеканов А.Н. Численное решение методом самосогласованного базиса уравнений Шрёдингера инвариантных относительно преобразований дискретных C_{nv} групп	13	Balandin O.S., Belyaeva I.N., Chekanov N.A., Chekanov A.N. Numerical solution by the self-consistent basis method of Schrödinger equations that are invariant with respect transformations of discrete C_{nv} groups	13
Стеценко О.Н., Хлопов В.В., Акиншин Д.И., Минченко Е.С. Разработка концепции мультиагентного подхода к кодированию видеоданных	25	Stetsenko O.N., Khlopov A.M., Akinshin D.I., Minchenko E.S. Development of the concept of a multi- agent approach to video data encoding	25
Прокушев Я.Е., Заливин А.Н., Пономаренко С.В., Пономаренко С.А. Особенности проектирования учебных планов бакалавриата и специалитета по информационной безопасности	38	Prokushev Ya.E., Zalivin A.N., Ponomarenko S.V., Ponomarenko S.A. The features of designing bachelor's and specialist's degree curricula in information security	38
Головинский С.А., Маслова М.А., Лагуткина Т.В. Использование хеш-таблиц в механизме защиты от DoS-атак на примере языка Python	49	Golovinskiy S.A., Maslova M.A., Lagutkina T.V. Usage of hash tables in the mechanism of protection against dos attacks using the Python language	49
Абрамова О.Ф. Применение веб-ориентированных дорожных карт для решения проблем при построении индивидуальной образовательной траектории	57	Abramova O.F. The use of web-based roadmaps to solve problems in building an individual educational trajectory	57

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DECISION MAKING

Басов О.О., Офицеров А.И. Автоматический разбор дорожно- транспортных происшествий на основе мультимодального анализа данных с использованием технологий искусственного интеллекта	69	Basov O.O., Ofitserov A.I. Automatic parsing traffic accidents based on multimodal data analysis using artificial intelligence technologies	69
Креницин П.Г., Ченцов С.В. Диагностика конвейерного оборудования с применением нейросетевых алгоритмов	84	Krinitzin P.G., Chentsov S.V. Diagnosis of conveyor equipment using neural network algorithms	84

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES

УДК 004.942

DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-1

Бердюгин П.С.¹
Жилияков Е.Г.²
Прохоренко Е.И.²
Медведева А.А.²
Сидоренко И.А.²

ОПТИМАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ
И ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СУБПОЛОСНЫХ
ПРЕДСТАВЛЕНИЙ. ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
АППАРАТА

¹) АО "Корпорация «Фазотрон-НИИР»

бульвар Кавказский, 59, г. Москва, 115516, Россия

²) Белгородский государственный национальный исследовательский университет
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия

e-mail: 1503425@bsuedu.ru, zhilyakov@bsuedu.ru, prokhorenko@bsuedu.ru, medvedeva_aa@bsuedu.ru

Аннотация

В статье рассматривается метод оптимальной обработки сигналов и изображений на основе субполосных представлений, основанный на разбиении определенного диапазона частот на смежные субполосы. Показано, что многие содержательные задачи обработки сигналов, в частности цифровая фильтрация, могут быть эффективно решены на основе субполосных представлений. Для решения задач обработки сигналов предлагается применять математический аппарат, в основе которого используются ортонормальные базисы собственных векторов субполосных матриц. Представлен математический аппарат, позволяющий вычислять часть энергии сигнала или изображения, приходящуюся на заданную субполосу, без необходимости прямого вычисления трансформант Фурье. Разработаны критерии оптимальной полосовой фильтрации для одномерных сигналов и двумерных изображений, обеспечивающие эффективное выделение полезной информации и подавление помех. Метод иллюстрируется численными экспериментами, демонстрирующими преимущества субполосного подхода в цифровой фильтрации и аппроксимации данных.

Ключевые слова: обработка сигналов; обработка изображений; субполосные представления; цифровая фильтрация

Для цитирования: Бердюгин П.С., Жилияков Е.Г., Прохоренко Е.И., Медведева А.А., Сидоренко И.А. Оптимальная обработка сигналов и изображений на основе субполосных представлений. Основы математического аппарата // Научный результат. Информационные технологии. – Т. 10, №2, 2025. – С. 3-12. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-1

Berdyugin P.S.¹
Zhilyakov E.G.²
Prokhorenko E.I.²
Medvedeva A.A.²
Sidorenko I.A.²

**OPTIMAL SIGNAL AND IMAGE PROCESSING BASED
ON SUBBAND REPRESENTATIONS. FUNDAMENTALS
OF THE MATHEMATICAL FRAMEWORK**

1) JSC "Corporation Phazotron-NIIR"
59 Kavkazsky Boulevard, Moscow, 115516, Russia
2) Belgorod State National Research University
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

e-mail: 1503425@bsuedu.ru, zhilyakov@bsuedu.ru, prokhorenko@bsuedu.ru, medvedeva_aa@bsuedu.ru

Abstract

The article discusses a method for optimal signal and image processing based on subband representations, which involves partitioning a certain frequency range into adjacent subbands. It is shown that many significant signal processing tasks, particularly digital filtering, can be efficiently addressed using subband representations. For solving signal processing problems, it is proposed to employ a mathematical framework based on orthonormal bases of eigenvectors of subband matrices. A mathematical apparatus is presented that allows calculating the portion of signal or image energy corresponding to a given subband without the need for direct computation of Fourier transforms. Criteria for optimal bandpass filtering of one-dimensional signals and two-dimensional images have been developed, enabling effective extraction of useful information and suppression of noise. The method is illustrated by numerical experiments demonstrating the advantages of the subband approach in digital filtering and data approximation.

Keywords: signal processing; image processing; subband representations; digital filtering

For citation: Berdyugin P.S., Zhilyakov E.G., Prokhorenko E.I., Medvedeva A.A., Sidorenko I.A. Optimal signal and image processing based on subband representations. Fundamentals of the mathematical framework // Research result. Information technologies. – Т. 10, №2, 2025. – P. 3-12. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-1

ВВЕДЕНИЕ

Обработка сигналов и изображений с использованием частотного анализа является одной из ключевых задач современной цифровой обработки информации. Традиционные методы, основанные на вычислении трансформант Фурье, зачастую требуют значительных вычислительных ресурсов и не всегда обеспечивают оптимальное разделение полезного сигнала и помех [2, 3, 7, 9]. В данной работе предлагается использовать субполосные представления, при которых полоса частот разбивается на смежные равновеликие субполосы, что позволяет анализировать и обрабатывать сигналы и изображения более эффективно.

Основная идея метода заключается в представлении энергии сигнала как суммы энергий, приходящихся на отдельные субполосы, и использовании собственных векторов субполосных матриц для построения оптимальных фильтров. Такой подход позволяет избежать прямого вычисления частотного спектра Фурье и существенно снизить вычислительные затраты, сохраняя при этом высокую точность обработки.

В работе также рассматриваются критерии качества фильтрации, а также приводятся результаты численных экспериментов, подтверждающих эффективность предложенного метода для одномерных сигналов и двумерных изображений.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Словосочетание «на основе субполосных представлений» означает, что свойства вектора отсчетов некоторого сигнала (штрих означает транспонирование)

$$\vec{x} = (x_1, \dots, x_N)'$$

анализируются с позиций разбиения всей частотной полосы на смежные субполосы. Целесообразность такого подхода обусловлена тем, что в соответствии с равенством Парсевалья

$$\|\bar{x}\|^2 = \sum_{k=1}^N x_k^2 = \int_{-\pi}^{\pi} |X(z)|^2 dz / 2\pi = \sum_{r=1}^R P_r(\bar{x})$$

всю энергию сигнала можно представить в виде суммы

$$\|\bar{x}\|^2 = \sum_{r=1}^R P_r(\bar{x}),$$

слагаемые которой

$$P_r(\bar{x}) = \int_{z \in Z_r} |X(z)|^2 dz / 2\pi \quad (1)$$

соответствуют субполосам вида

$$Z_r = [-Z_{2r}, -Z_{1r}) \cup [Z_{1r}, Z_{2r}), r = 1, \dots, R; Z_{1r} = 1; Z_{1r+1} = Z_{2r}; Z_{2R} = \pi, \quad (2)$$

где

$$X(z) = \sum_{k=1}^N x_k \exp(-jz(k-1)). \quad (3)$$

В основе развиваемого подхода обработки сигналов предлагается использовать понятие части энергии, попадающей в заданную субполосу, которая определяется представлением вида (1). Существенное значение для построения математического аппарата такого подхода является то, что при этом нет необходимости вычислять трансформанту Фурье (спектр) вида (3). В самом деле, подстановка определения (3) в представление (1) после несложных преобразований позволит получить квадратичную форму следующего вида

$$P_r(\bar{x}) = \bar{x}' A_r \bar{x}, \quad (4)$$

где $A_r = \{a_{ik}^r\}, i, k = 1, \dots, N$ - субполосная матрица с элементами

$$a_{ik}^r = \int_{z \in Z} \exp(-jz(i-k)) dz / 2\pi = 2 \sin((Z_{2r} - Z_{1r})(i-k) / 2) \cos((Z_{2r} + Z_{1r})(i-k) / 2) / \pi(i-k) \quad (5)$$

Важной особенностью субполосной матрицы является её неотрицательная определенность и симметричность. Поэтому для неё справедливо представление

$$A_r = Q_r L_r Q_r',$$

где имеются в виду ортогональная матрица собственных векторов

$$Q_r = (\vec{q}_1^r \dots \vec{q}_N^r), Q_r Q_r' = Q_r' Q_r = \text{diag}(1, \dots, 1)$$

и диагональная матрица упорядоченных по убыванию неотрицательных собственных чисел

$$L_r = \text{diag}(\lambda_1^r, \dots, \lambda_N^r), \lambda_1^r \geq \lambda_2^r \geq \dots \geq \lambda_N^r \geq 0.$$

Таким образом, набор собственных векторов любой субполосной матрицы может служить базисом для пространства векторов соответствующей размерности, так что справедливо представление

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^N \alpha_{ir} \vec{q}_i^r = Q_r \vec{\alpha}_r, \vec{\alpha}_r = Q_r' \bar{x}.$$

Поэтому соотношение (4) можно преобразовать к виду

$$P_r(\bar{x}) = \sum_{i=1}^N \lambda_i^r \alpha_{ir}^2. \quad (6)$$

Для собственных чисел субполосной матрицы выполняются следующие соотношения

$$\lambda_i^r = \int_{z \in Z_r} |G_i^r(z)|^2 dz / 2\pi, i = 1, \dots, N, G_i^r(z) = \sum_{k=1}^N q_{ki}^r \exp(-jz(k-1));$$

$$0 \leq \lambda_i^r \leq 1, i = 1, \dots, N.$$

Положим

$$J_r = 2[N\Delta_r / 2\pi] + 6, \Delta_r = (Z_{2r} - Z_{1r}) \quad (7)$$

где квадратные скобки означают целую часть. Тогда при выполнении неравенства

$$N \geq J_r$$

достаточно точно будут выполняться равенства

$$\lambda_k^r \approx 0, k = J_r + 1, \dots, N. \quad (8)$$

При этом (6) преобразуется к следующему виду

$$P_r(\vec{x}) = \sum_{i=1}^{J_r} \lambda_i^r \alpha_{ir}^2,$$

использование которого может существенно сократить вычислительные затраты.

Отметим еще одно свойство полного набора субполосных матриц, определяемых для разбиения вида (2)

$$\sum_{r=1}^R A_r = \text{diag}(1, \dots, 1). \quad (9)$$

СУБПОЛОСНАЯ (ПОЛОСОВАЯ) ФИЛЬТРАЦИЯ СИГНАЛОВ

Имеется в виду выделение из аддитивной смеси

$$\vec{x} = \vec{y}_r + \vec{u}_r,$$

компоненты $\vec{y}_r = (y_{1r}, \dots, y_{Nr})'$, для спектра которой

$$Y_r(z) = \sum_{k=1}^N y_{kr} \exp(-jz(k-1))$$

в идеальном случае должны выполняться условия

$$Y_r(z) = X(z), z \in Z_r, \quad (10)$$

$$Y_r(z) = 0, z \notin Z_r. \quad (11)$$

Известно, что для конечной размерности исходных векторов эти условия одновременно не могут быть выполнены и возможно воспользоваться только некоторыми аппроксимациями, для построения которых следует использовать некоторые критерии качества приближений к идеалу.

Представляют интерес два критерия.

1. Квадратичный функционал вида

$$F(\vec{x}, \vec{y}_r) = P_r(\vec{x} - \vec{y}_r) + (\|\vec{y}_r\|^2 - P_r(\vec{y}_r)),$$

компоненты которого, очевидно, могут служить мерами погрешностей выполнения условий (10) и (11).

Минимизация этого функционала дает представление для оптимального в смысле этого критерия вектора

$$\vec{y}_r = A_r \vec{x}.$$

На основе определения (5) элементов субполосной матрицы нетрудно получить представление для компонент этого вектора

$$y_{kr} = \int_{z \in Z_r} X(z) \exp(jz(k-1)) dz / 2\pi, k = 1, \dots, N,$$

из которого следует, что они полностью определяются только отрезком спектра из рассматриваемой субполосы и не реагируют на энергию сигнала из смежных субполос. Это свойство иллюстрируют рисунки 1 и 2, отражающие результаты вычислительного эксперимента

В качестве исходного сигнала моделировался вектор с компонентами

$$x(k) = 0.8 \sin(\omega_1 k) + \sin(\omega_2 k) + 0.5 \sin(\omega_3 k), k = 1, \dots, 512,$$

где $\omega_1 = 0.3461$; $\omega_2 = 0.3682$; $\omega_3 = 0.4418$, длина импульсной характеристики КИХ- фильтра [4, 8, 10] выбрана равной удвоенной длительности сигнала (1024).

Легко заметить существенное отличие результатов фильтрации.

Отметим также, что в виду соотношения (9) будет выполняться свойство полной аддитивности результатов оптимальной фильтрации

$$\sum_{r=1}^T \bar{y}_r = \bar{x},$$

что также выгодно отличает рассматриваемый вариант цифровой фильтрации с помощью КИХ-фильтров по тому же набору субполос.

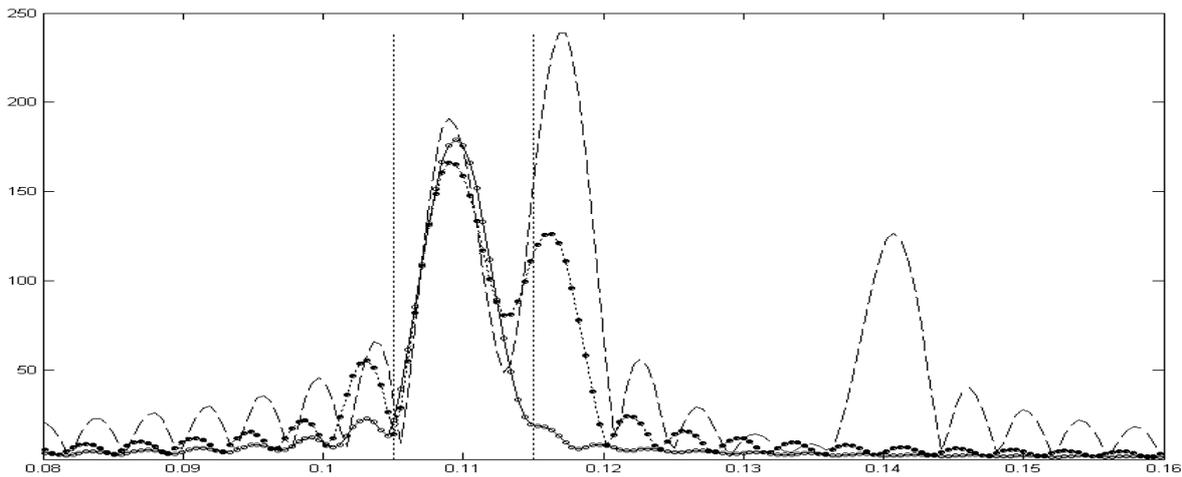


Рис. 1. Модули трансформант Фурье: исходного сигнала (пунктир); выходных последовательностей КИХ-фильтра (линия с маркером «точка») и оптимального фильтра (линия с маркером «кружок») в частотном диапазоне ($\nu_1=0,105\pi$; $\nu_2=0,115\pi$) (вертикальные пунктирные линии)

Fig. 1. Modules of the Fourier transform: of the original signal (dashed line); output sequences of the FIR filter (line with "dot" marker) and the optimal filter (line with "circle" marker) in the frequency range ($\nu_1 = 0.105\pi$; $\nu_2 = 0.115\pi$) (vertical dashed lines)

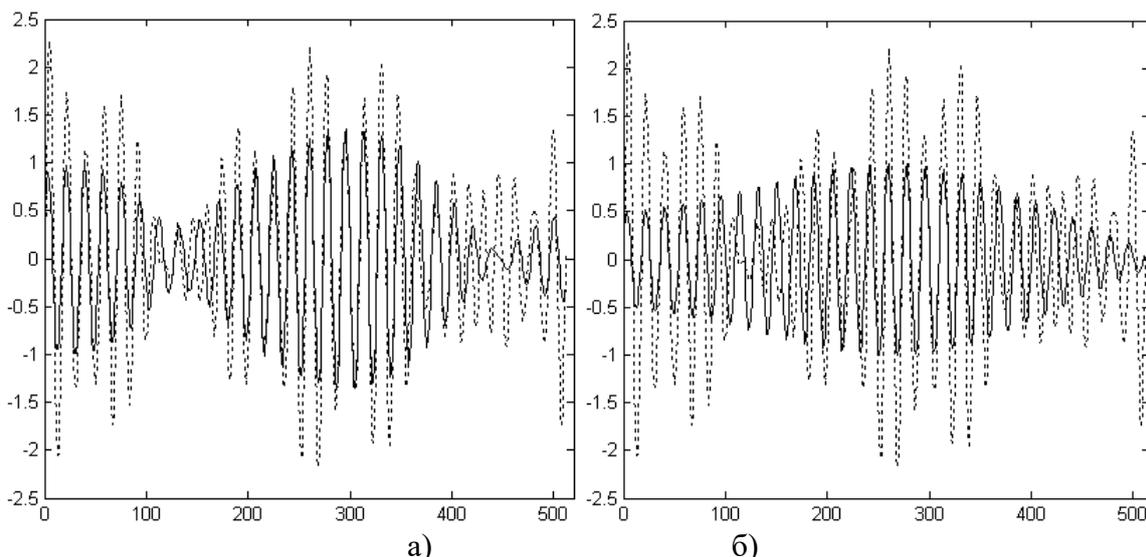


Рис. 2. а) Исходный сигнал (пунктирная линия) и б) выходные последовательности фильтров (сплошная линия) КИХ-фильтра оптимального фильтра (границы частотного интервала $\nu_1=0,105\pi$; $\nu_2=0,115\pi$)

Fig. 2. a) Input signal (dashed line) and b) output sequences of the filters (solid line) of the FIR filter of the optimal filter (frequency band edges $\nu_1=0.105\pi$; $\nu_2=0.115\pi$).

2. Очевидно, что в качестве меры субполосной близости двух векторов естественно использовать квадратичный функционал следующего вида

$$P_r(\vec{x} - \vec{w}) = \sum_{k=1}^N \lambda_k^r (\alpha_{kr} - \beta_{kr})^2, \vec{\beta}_r = Q_r \vec{w}. \quad (12)$$

Если часть собственных чисел близка к нулю (см. (7)-(8)), на векторе

$$\vec{w}_r = Q1_r \vec{\alpha}_{J_r}, Q1_r = (\vec{q}_1^r \dots \vec{q}_{J_r}^r), \vec{\alpha}_{J_r} = Q1_r' \vec{x} \quad (13)$$

достигается условие

$$P_r(\vec{x} - \vec{w}_r) = \min \sum_{k=1}^{J_r} \lambda_k^r (\alpha_{kr} - \beta_{kr})^2, \forall \vec{w} \in R^N; \vec{\beta}_r = Q_r \vec{w},$$

причем справедливо приближенное равенство

$$P_r(\vec{x} - \vec{w}_r) \approx 0.$$

Таким образом, с высокой точностью выполняется равенство отрезков спектров исходного сигнала и вектора (13). Иными словами, вектор (13) является оптимальным в смысле критерия (12). Отметим, что этот вектор является проекцией исходного вектора на подпространство, которое натянуто на собственные векторы субполосной матрицы, соответствующие значимо отличным от нуля собственным числам.

На представленном ниже Рисунке 3 представлены графики модуля спектра исходного сигнала (сравни с рисунком 1) и разностей модулей спектров исходного сигнала и его аппроксимации вида (13). График разности располагается графика модуля спектра исходного сигнала. Отметим, что в пределах используемой субполосы эта разность близка к нулю, но вне этой субполосы сохраняют достаточно большие значения. При построении аппроксимации отбирались собственные векторы, которое соответствуют собственным числам превосходящих 0.0001.

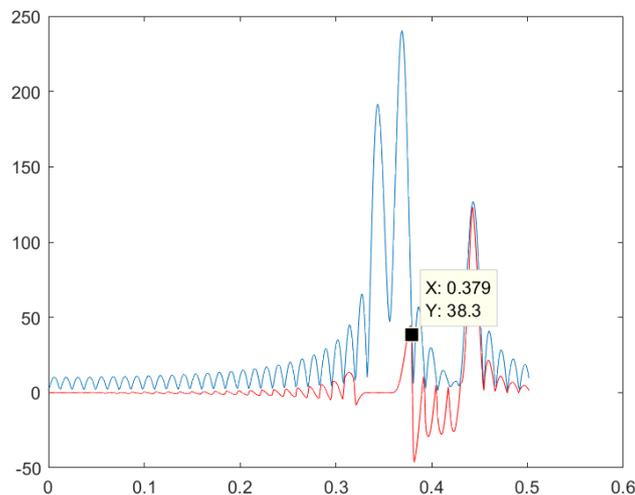


Рис. 3. Графики модуля спектра исходного сигнала и разностей модулей спектров исходного сигнала и его аппроксимации вида (13)

Fig. 3. Graphs of the magnitude of the spectrum of the original signal and the differences between the magnitudes of the spectra of the original signal and its approximation of the form (13)

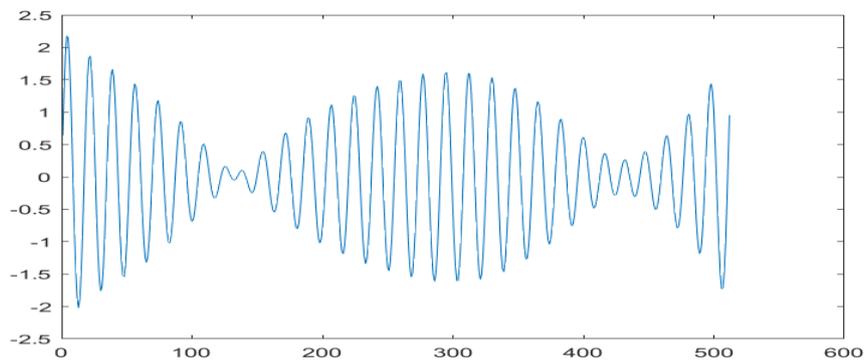


Рис. 4. График аппроксимации
Fig. 4. Approximation graph

Отметим, что графики на рисунках 4 и 2а похожи.

На рисунках 5 и 6 приведены графики реального дендроряда и его аппроксимации согласно (13). Они показывают, что предлагаемый способ аппроксимации на основе субполосных представлений позволяет построить тренды, минуя априорное постулирование соответствующих математических зависимостей.

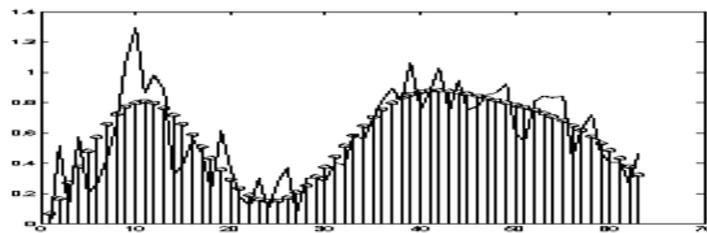


Рис. 5. Дендроряд и его аппроксимация на основе (13) (гладкая кривая)
с адаптивным определением информационной субполосы

Fig. 5. Dendrogram and its approximation based on (13) (smooth curve) with adaptive determination of the information subband

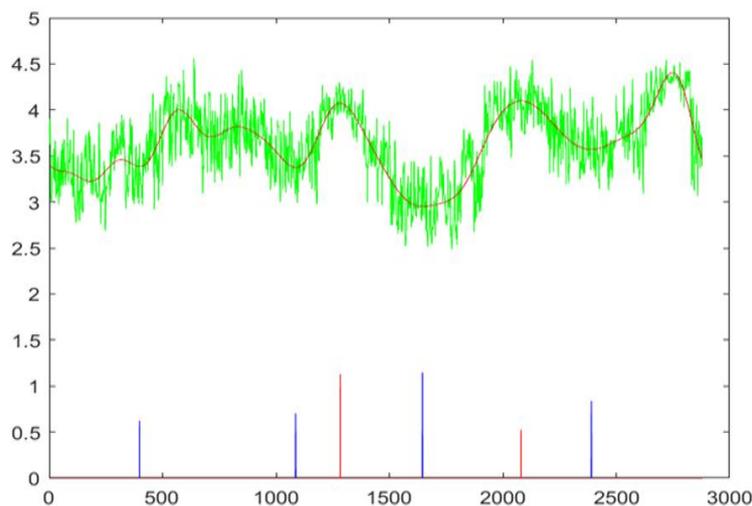


Рис. 6. Графики данных энергопотребления и его аппроксимация (13)
Fig. 6. Graphs of energy consumption data and its approximation (13)

ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СУБПОЛОСНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

Для двумерной размерности изображений

$$F = \{f_{ik}\}, i = 1, \dots, N; k = 1, \dots, M$$

область определения спектра

$$\Phi(v, u) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M f_{ik} \exp(-jv(i-1)) \exp(-ju(k-1))$$

тоже является двумерной

$$(v, u) \in (-\pi, \pi) \cap (-\pi, \pi)$$

Поэтому естественным обобщением субполосных представлений является анализ свойств изображений в соответствии с разбиением этой двумерной плоскости на двумерные субполосы [1, 6], которые представлены ниже на рисунке 7.

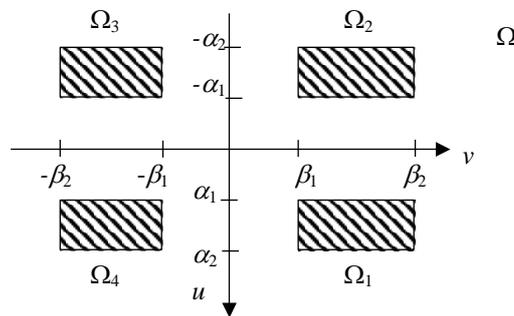


Рис. 7. Конфигурация двумерной частотной субполосы
Fig. 7. Configuration of the two-dimensional frequency subband

Определение части энергии изображения, попадающей в такую центрально симметричную субполосу, имеет следующий вид

$$P_{\Omega}(F) = \frac{1}{4\pi^2} \iint_{(u,v) \in \Omega} |\Phi(u, v)|^2 dudv. \quad (14)$$

Нетрудно получить соотношение

$$P_{\Omega}(F) = \text{tr}(AFBF'), \quad (15)$$

которое определяет часть энергии изображения F попадающей в двумерную субполосу Ω

В выражении (15) символ tr означает след матрицы, а $A = \{a_{ik}\}, i, k = 1 \dots N$ и $B = \{b_{nm}\}, n, m = 1, \dots, M$ – субполосные матрицы с элементами

$$a_{i_1 i_2} = \begin{cases} \frac{\text{Sin}(\alpha_2(i_1 - i_2)) - \text{Sin}(\alpha_1(i_1 - i_2))}{\pi(i_1 - i_2)}, & i_1 \neq i_2, \\ \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\pi}, & i_1 = i_2, \end{cases}$$

$$b_{k_1 k_2} = \begin{cases} \frac{\text{Sin}(\beta_2(k_1 - k_2)) - \text{Sin}(\beta_1(k_1 - k_2))}{\pi(k_1 - k_2)}, & k_1 \neq k_2, \\ \frac{\beta_2 - \beta_1}{\pi}, & k_1 = k_2. \end{cases}$$

Ясно, что и в этом случае характеристику (14) можно вычислить без перехода в область пространственных частот.

В качестве критерия оптимальной полосовой двумерной фильтрации естественно использовать квадратичный функционал следующего вида

$$T(F, F_{\Omega}) = P_{\Omega}(F - F_{\Omega}) + (\|F_{\Omega}\|^2 - P_{\Omega}(F_{\Omega})).$$

Минимизация этого функционала дает представление для искомого результата фильтрации

$$F_{\Omega} = AFB. \quad (16)$$

Используя определения входящих сюда субполосных матриц, нетрудно доказать справедливость следующих соотношений для элементов результата фильтрации

$$f_{ik}^{\Omega} = \int_{(u,v) \in \Omega} \Phi(u,v) \exp(ju(i-1)) \exp(jv(k-1)) dudv / 4\pi^2.$$

Таким образом, результата оптимальной фильтрации полностью определяется двумерным отрезком спектра Фурье исходного изображения из рассматриваемой двумерной субполосы.

На основе фильтрации вида (16) можно управлять диаграммой направленности антенных систем с позиций минимизации реакций на энергии электромагнитных воздействий из смежных частотных областей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный в статье подход к оптимальной обработке сигналов и изображений на основе субполосных представлений демонстрирует высокую эффективность и вычислительную целесообразность. Использование разбиения частотной полосы на субполосы и собственных векторов соответствующих субполосных матриц позволяет строить оптимальные фильтры, которые выделяют полезный сигнал и подавляют помехи без необходимости полного частотного анализа.

Численные эксперименты подтвердили, что субполосная фильтрация обеспечивает точную аппроксимацию исходных данных и обладает свойством полной аддитивности, что выгодно отличает её от традиционных методов [5]. Кроме того, метод успешно обобщается на двумерные изображения, что открывает перспективы для его применения в различных областях, включая обработку изображений и управление диаграммами направленности антенных систем.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на развитие адаптивных алгоритмов выбора субполос и расширение спектра применений предложенного математического аппарата.

Список литературы

1. Заливин А.Н., Черноморец А.А., Жиляков Е.Г., Белов С.П. Анализ изображений на основе субполосных представлений в области пространственных частот. Инфокоммуникационные технологии. 2020. 18(1): 7-12.
2. Колмогоров А.Н. Основы теории вероятностей и математической статистики. М.: Наука, 1978. 264 с.
3. Никольский С.М. Методы спектрального анализа в обработке сигналов. Москва, 2010.
4. Цифровая обработка сигналов / Матвеев Ю.Н., Симончик К.К., Тропченко А.Ю., Хитров М.В. СПб.: НИУ ИТМО, 2013. 166 с.
5. Donoho D.L. De-noising by soft-thresholding. IEEE Transactions on Information Theory, 1995. 41(3): 613–627.
6. Gonzalez R. C., Woods R.E., Digital Image Processing. Pearson, 2017.
7. Oppenheim A.V., Schaffer R.W., Discrete-Time Signal Processing. Prentice Hall, 2010.
8. Proakis J.G., Manolakis D.G. Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications. Prentice Hall, 2006. 1024 p.
9. Yakimov V., Lange P., Yaroslavkina E. Formant frequencies estimation based on correlogram method of spectral analysis and binary-sign stochastic quantization. Cyber-Physical Systems: Modelling and Industrial Application. Cham. 2022. P. 137-146.
10. Yenuchenko M.S. Basics of digital signal processing: work-book. St. Petersburg: POLYTECH-PRESS. 2024. 101 p.

References

1. Zalivin A.N., Chernomorets A.A., Zhilyakov E.G., Belov S.P. Image analysis based on subband representations in the spatial frequency domain. Infocommunication Technologies. 2020. 18(1): 7-12.
2. Kolmogorov A.N. Foundations of the Theory of Probability and Mathematical Statistics, Moscow: Nauka, 1978. 264 p.
3. Nikolsky S. M. Methods of spectral analysis in signal processing. Moscow, 2010.

4. Digital Signal Processing / Matveev Yu.N., Simonchik K.K., Tropchenko A.Yu., Khitrov M.V. Saint Petersburg: ITMO University, 2013. 166 pages.
5. Donoho D.L. De-noising by soft-thresholding. IEEE Transactions on Information Theory, 1995. 41(3): 613–627.
6. Gonzalez R. C., Woods R.E., Digital Image Processing. Pearson, 2017.
7. Oppenheim A.V., Schaffer R.W., Discrete-Time Signal Processing. Prentice Hall, 2010.
8. Proakis J.G., Manolakis D.G. Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications. Prentice Hall, 2006. 1024 p.
9. Yakimov V., Lange P., Yaroslavkina E. Formant frequencies estimation based on correlogram method of spectral analysis and binary-sign stochastic quantization. Cyber-Physical Systems: Modelling and Industrial Application. Cham. 2022. P. 137-146.
10. Yenuchenko M.S. Basics of digital signal processing: work-book. St. Petersburg: POLYTECH-PRESS. 2024. 101 p.

Бердюгин Павел Сергеевич, начальник отдела, АО "Корпорация «Фазотрон-НИИР», г. Москва, Россия

Жиликов Евгений Георгиевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Прохоренко Екатерина Ивановна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Медведева Александра Александровна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Сидоренко Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Berdyugin Pavel Sergeevich, Head of Department, JSC "Corporation Fazotron-NIIR", Moscow, Russia

Zhylyakov Evgeny Georgievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Prokhorenko Ekaterina Ivanovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Medvedeva Alexandra Alexandrovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Sidorenko Igor Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 51-74; 51-72:530.145

DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-2

Баландин О.С.¹
Беляева И.Н.²
Чеканов Н.А.³
Чеканов А.Н.¹

**ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ МЕТОДОМ САМОСОГЛАСОВАННОГО
БАЗИСА УРАВНЕНИЙ ШРЁДИНГЕРА ИНВАРИАНТНЫХ
ОТНОСИТЕЛЬНО ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДИСКРЕТНЫХ C_{nv}
ГРУПП**

¹⁾ Белгородский юридический институт МВД РФ им. И.Д. Путилина,
ул. Горького, 71, г. Белгород, 30802, Россия

²⁾ Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия

³⁾ г. Белгород, Россия

e-mail: ibelyaeva@bsuedu.ru

Аннотация

В работе так называемым методом самосогласованного базиса найдены решения трёх двумерных уравнений Шрёдингера, которые являются инвариантными относительно преобразований дискретных групп C_{nv} , $n=2,3,4$. В классическом пределе классические системы, соответствующие этим уравнениям Шрёдингера допускают существование, как регулярных, так и хаотических режимов движения.

На примере решения C_{3v} -симметричного уравнения Шрёдингера достаточно подробно и понятно последовательно изложены все этапы решения методом самосогласованного базиса, в этом методе решения уравнений Шрёдингера ищутся в виде тригонометрического ряда, в котором коэффициенты-функции находятся точным численным интегрированием исходного уравнения и потому эти коэффициенты-функции являются согласованными с видом исходного дифференциального уравнения, в частности, с поверхностью потенциальной энергии (ППЭ), которая может быть достаточно сложной. К примеру, было решено уравнение, в котором ППЭ имеет пять локальных минимумов и четыре седловины. Важной положительной особенностью метода самосогласованного базиса является возможность все его этапы, как аналитические, так и численные выполнить при помощи известных компьютерных систем символьных вычислений таких как Maple, Mathematica, Reduce, др. В настоящей работе была использована система Maple, в которой были составлены соответствующие программы, с помощью которых получены все представленные результаты. Для указанных уравнений Шрёдингера были различные уровни энергий и волновые функции, для некоторых из них были построены трехмерные изображения и изолинии. Проведено сравнение вычисленных нами значений энергии с имеющимися в литературе результатами других авторов и получено достаточно хорошее согласие. В одном случае для уравнения Шрёдингера с C_{3v} симметрией было обнаружено, что высокая точность расчета уровней энергии методом самосогласованного базиса достигается с намного меньшим объемом вычислений по сравнению с методом диагонализации. Обнаружено также, что для вычисления уровней энергии из той области энергий, где классическое движение является хаотическим требуется более тщательная подгонка имеющихся двух параметров.

Ключевые слова: двумерное уравнение Шрёдингера; дискретные группы C_{nv} , $n=2,3,4$; метод самосогласованного базиса; системы линейных обыкновенных дифференциальных уравнений; математическое моделирование; уровни энергий; волновые функции; система Maple

Для цитирования: Баландин О.С., Беляева И.Н., Чеканов Н.А., Чеканов А.Н. Численное решение методом самосогласованного базиса уравнений Шрёдингера инвариантных относительно преобразований дискретных C_{nv} групп // Научный результат. Информационные технологии. – Т. 10, №2, 2025. – С. 13-24. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-2

Balandin O.S.¹
Belyaeva I.N.²
Chekanov N.A.³
Chekanov A.N.¹

NUMERICAL SOLUTION BY THE SELF-CONSISTENT BASIS METHOD OF SCHRÖDINGER EQUATIONS THAT ARE INVARIANT WITH RESPECT TRANSFORMATIONS OF DISCRETE C_{nv} GROUPS

¹Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russian Federation named after I.D. Putilin,
71 Gorky St., Belgorod, 30802, Russia
²Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia
³Belgorod, Russia

e-mail: e-mail: ibelyaeva@bsuedu.ru

Abstract

In this work, using the so-called self-consistent basis method, solutions to three two-dimensional Schrödinger equations are found, which are invariant under transformations of discrete groups C_{nv} , $n=2,3,4$. In the classical limit, classical systems corresponding to these Schrödinger equations allow the existence of both regular and chaotic modes of motion.

Using the example of solving the C_{3v} -symmetric Schrödinger equation, all stages of the solution by the self-consistent basis method are presented in sufficient detail and clearly. In this method, solutions to the Schrödinger equations are sought in the form of a trigonometric series in which the coefficient functions are found by exact numerical integration of the original equation and therefore these coefficient functions are consistent with the form of the original differential equation, in particular, with the potential energy surface (PES), which can be quite complex. For example, an equation was solved in which the PES has five local minima and four saddle points. An important positive feature of the self-consistent basis method is the ability to perform all its stages, both analytical and numerical, using well-known computer systems for symbolic calculations such as Maple, Mathematica, Reduce, etc. In this work, the Maple system was used, in which the corresponding programs were compiled, with the help of which all presented results were obtained. For these Schrödinger equations there were various energy levels and wave functions, for some of them three-dimensional images and isolines were constructed. We compared the energy values we calculated with the results of other authors available in the literature and obtained fairly good agreement. In one case, for the Schrödinger equation with C_{3v} symmetry, it was found that high accuracy calculations of energy levels using the self-consistent basis method were achieved with much less computation compared to the diagonalization method. It was also discovered that to calculate energy levels from the energy region where classical motion is chaotic, a more careful adjustment of the two available parameters is required.

Keywords: two-dimensional Schrödinger equation; discrete groups C_{nv} , $n=2,3,4$; self-consistent basis method; systems of linear ordinary differential equations; mathematical modeling; energy levels; wave functions; Maple system

For citation: Balandin O.S., Belyaeva I.N., Chekanov N.A., Chekanov A.N. Numerical solution by the self-consistent basis method of Schrödinger equations that are invariant with respect transformations of discrete C_{nv} groups // Research result. Information technologies. – Т. 10, №2, 2025. – P. 13-24. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-2

ВВЕДЕНИЕ

В свое время для решения двумерных уравнений Шрёдингера был предложен так называемый метод самосогласованного базиса [1, 2], где были некоторые замечания о его точности по сравнению с традиционным методом диагонализации. К настоящему времени для решения уравнения Шрёдингера разработаны самые разнообразные методы его решения, из которых можно выделить, например, следующие [3-14], из которых наиболее разработанным является метод диагонализации.

В настоящей работе этот метод применяется к нескольким уравнениям Шрёдингера, которые являются инвариантными относительно преобразований, составляющих одну из групп C_{nv} ,

$n = 2, 3, 4$. Напомним, что в этом методе по одной переменной проводится точное (численное) интегрирование, а редукция выполняется по другой переменной, то есть, в общем, бесконечная система обыкновенных дифференциальных уравнений заменяется конечной. В частности, решение ищется в полярных координатах (r, φ) в виде разложения волновой функции $\psi(r, \varphi)$ в ряд Фурье

$$\sqrt{r}\psi(r, \varphi) \equiv u(r, \varphi) = \frac{1}{2}A_0(r) + \sum_{k=1}^{\infty} [A_k(r) \cdot \cos(k\varphi) + B_k(r) \cdot \sin(k\varphi)] \quad (1)$$

и для коэффициентов-функций $A_k(r)$, $B_k(r)$ получаем системы обыкновенных дифференциальных уравнений, из которой при учете граничных условий вычисляем энергетический спектр и соответствующие волновые функции исходного уравнения Шрёдингера. При этом число получаемых систем обыкновенных дифференциальных уравнений равно числу неприводимых представлений для данной конкретной группы [6, 15] и по которым проводится классификация спектров и волновых функций.

МЕТОД САМОСОГЛАСОВАННОГО БАЗИСА

Пусть функция Гамильтона задана в виде

$$H(x, y, p_x, p_y) = \frac{1}{2}(p_x^2 + p_y^2) + \frac{a}{2}(x^2 + y^2) - \frac{a'}{2}x^2 + bx^2y^2 + c(x^2 + y^2)^2, \quad (2)$$

где a, a', b, c – параметры. В этой классической системе существуют как регулярный, так и хаотический режимы движения. Это иллюстрируется сечениями Пуанкаре (см. Рис. 1 а, б).

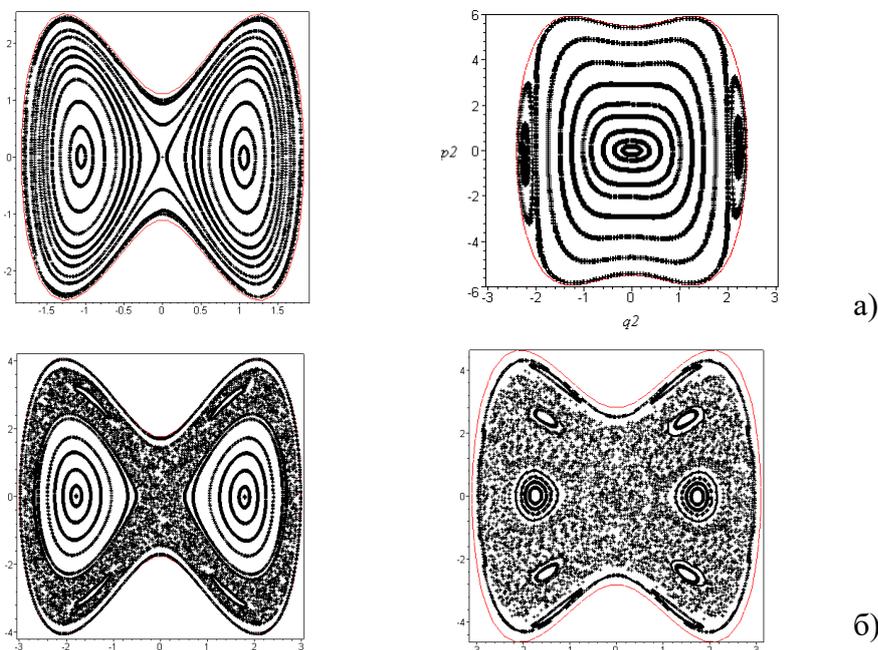


Рис. 1. а – Регулярное движение в системе (2) при следующих значениях параметров $a = 1.849; b = 0; c = 1; a' = 8.257825$ и при разных начальных условиях;

б) – Хаотическое движение в системе (2) при следующих значениях параметров $a = 1.894; b = -0.28707; c = 0.375095; a' = 8.257825$ и при разных начальных условиях

Fig. 1. а – Regular motion in the system (2) with the following parameter values

$a = 1.849; b = 0; c = 1; a' = 8.257825$ and under different initial conditions;

б) – Chaotic motion in the system (2) with the following parameter values

$a = 1.894; b = -0.28707; c = 0.375095; a' = 8.257825$ and different initial conditions.

$$\begin{cases} B_1'' + \alpha_1 B_1 + \beta B_3 + \gamma(B_5 - B_3) = 0 \\ B_3'' + \alpha_3 B_3 + \beta(B_1 + B_5) + \gamma(B_7 - B_1) = 0 \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ B_l'' + \alpha_l B_l + \beta(B_{l-2} + B_{l+2}) + \gamma(B_{l+4} + B_{l-4}) = 0 \end{cases} \quad (8)$$

$l = 1, 3, 5, 7, \dots$

В частности, разные типы волновых функций будут определяться следующими выражениями:

тип A_1 : $u_{A_1}(r, \varphi) = \frac{A_0}{2} + \sum_{l=1}^N A_{2l}(r) \cos(2l\varphi)$;

тип A_2 : $u_{A_2}(r, \varphi) = \sum_{l=1}^N B_{2l}(r) \sin(2l\varphi)$;

тип B_1 : $u_{B_1}(r, \varphi) = \frac{A_0}{2} + \sum_{l=0}^N A_{2l+1}(r) \cos[(2l+1)\varphi]$;

тип B_2 : $u_{B_2}(r, \varphi) = \sum_{l=0}^N B_{2l+1}(r) \sin[(2l+1)\varphi]$;

Для применения известной системы символьно-численных вычислений Maple все системы уравнений (5)-(8) удобно эквивалентным образом запишем в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка для новых неизвестных функций $z_l(r)$:

A_1 -тип:

$$\begin{cases} z_1' - z_2 = 0 \\ z_2' + \alpha_0 z_1 + 2\beta z_3 + 2\gamma z_5 = 0 \\ z_3' - z_4 = 0 \\ z_4' + \alpha_2 z_3 + \beta(z_1 + z_5) + \gamma(z_7 + z_3) = 0 \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ z_{l+2}' + \alpha_l z_{l+1} + \beta(z_{l-1} z_{l+3}) + \gamma(z_{l-3} z_{l+5}) = 0 \end{cases} \quad (9)$$

$A_l = z_{l+1}, A_l'' = z_{l+2}, l = 0, 2, 4, 6, \dots$

A_2 -тип:

$$\begin{cases} z_1' - z_2 = 0 \\ z_2' + \alpha_2 z_1 + \beta z_3 + \gamma(z_5 - z_1) = 0 \\ z_3' - z_4 = 0 \\ z_4' + \alpha_4 z_3 + \beta(z_1 + z_5) + \gamma z_7 = 0 \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ z_l' + \alpha_l z_{l-1} + \beta(z_{l-3} + z_{l+1}) + \gamma(z_{l-5} + z_{l+3}) = 0 \\ B_l = z_{l-1}, B_l'' = z_l', l = 0, 2, 4, 6, \dots \end{cases} \quad (10)$$

B_1 -тип:

$$\begin{cases} z'_1 - z_2 = 0 \\ z'_2 + \alpha_1 z_1 + \beta z_3 + \gamma(z_3 + z_5) \\ z'_3 - z_4 = 0 \\ z'_4 + \alpha_3 z_3 + \beta(z_1 + z_5) + \gamma z_7 = 0 \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ z'_{l+1} + \alpha_l z_l + \beta(z_{l-2} + z_{l+2}) + \gamma(z_{l-4} + z_{l+4}) = 0 \end{cases} \quad (11)$$

$A_l = z_l, B_l'' = z'_{l+1}, l = 1, 3, 5, 7, \dots$

B_2 -тип:

$$\begin{cases} z'_1 - z_2 = 0 \\ z'_2 + \alpha_1 z_1 + \beta z_3 + \gamma(z_5 - z_3) = 0 \\ z'_3 - z_4 = 0 \\ z'_4 + \alpha_3 z_3 + \beta(z_1 + z_5) + \gamma(z_7 - z_1) = 0 \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ z'_{l+1} + \alpha_l z_l + \beta(z_{l-2} + z_{l+2}) + \gamma(z_{l+4} - z_{l-4}) \end{cases} \quad (12)$$

$B_l = z_l, B_l'' = z'_{l+1}, l = 1, 3, 5, 7, \dots$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Все описанные выше операции, как аналитические, так и численные были выполнены при помощи соответствующей программы [16] символьно-численных вычислений в компьютерной системе Maple. Ниже представим некоторые результаты для уравнения (3). Отметим, что точность численных расчетов контролировалась вариацией параметров R_{end}, N таким образом, чтобы первые семь и более знаков после десятичной точки в величине энергетического уровня не менялись.

В таблице 1 приведены низжайшие энергетические уровни E_n уравнения Шрёдингера (3) в области с регулярным классическим движением, то есть с набором параметров ($a = 1.849; b = 0; c = 1; a' = 8.257825$), а на рисунке 2 показаны вычисленные рельефы и изолинии волновых функций указанных типов.

Таблица 1

Низжайшие энергетические уровни E_n уравнения Шрёдингера (3) в области с регулярным классическим движением, то есть с набором параметров $a = 1.849; b = 0; c = 1; a' = 8.257825$

Table 1

The lowest energy levels of the Schrodinger equation (3) in a region with regular classical motion, that is, with a set of parameters $a = 1.849; b = 0; c = 1; a' = 8.257825$

n	Спектр E_n	Тип симметрии	n	Спектр E_n	Тип симметрии
0	0,22495	A_1	4	3,53045	A_2
1	0,60354	B_1	5	4,2911	B_1
2	2,56973	A_1	6	5,32398	B_2
3	2,82253	B_2	7	5,75443	A_1

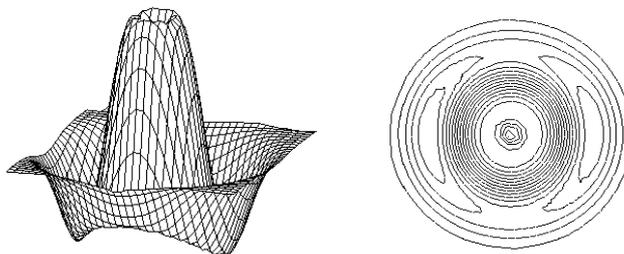


Рис. 2. Волновая функция A_1 -типа для параметров $a = 1.8494; b = 0; c = 1; a' = 8.257825$

Fig. 2. Wave function A_1 -type for parameters $a = 1.8494; b = 0; c = 1; a' = 8.257825$

В таблице 2 приведены нижайшие энергетические уровни E_n уравнения Шрёдингера (3) в области с хаотическими режимами движения, то есть с набором параметров ($a = 1.8494; b = -0,28707; c = 0,3755095; a' = 8.257825$), а на рисунке 3 приведены некоторые вычисленные рельефы и изолинии волновых функций.

Таблица 2

Энергетические уровни уравнения Шрёдингера (3) с набором параметров
($a = 1.8494; b = -0,28707; c = 0,3755095; a' = 8.257825$)

Table 2

Energy levels of the Schrodinger equation (3) with a set of parameters
($a = 1.8494; b = -0,28707; c = 0,3755095; a' = 8.257825$)

n	Спектр E_n	Тип симметрии	n	Спектр E_n	Тип симметрии
0	-3,89880	A_1	4	-0,90380	A_1
1	-3,89724	B_1	5	-0,80726	B_1
2	-1,42321	B_2	6	1,21778	A_1
3	-1,41961	A_2	7	1,34614	B_1

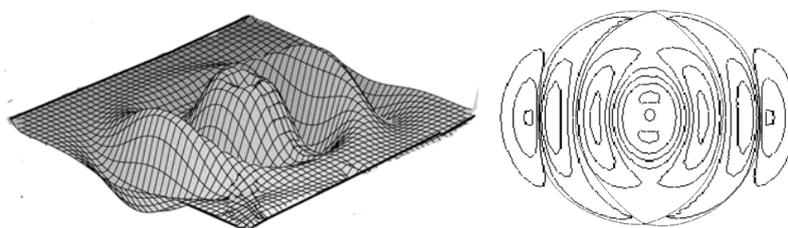


Рис. 3. Рельеф и изолинии волновой функции A_1 -типа с параметрами $a = 1.8494; b = -0,28707; c = 0,3755095; a' = 8.257825$ для уровня $E = 3,68467178$

Fig. 3. Relief and isolines of the wave function A_1 -type with parameters $a = 1.8494; b = -0,28707; c = 0,3755095; a' = 8.257825$ for the level $E = 3,68467178$

Методом самосогласованного базиса было также решено следующее уравнение Шрёдингера

$$\hat{H}\psi(x, y) = E\psi(x, y) \quad (13)$$

$$\hat{H} = -\frac{1}{2}\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right) + V(x, y), \quad V(x, y) = \frac{1}{2}(x^2 + y^2) + b\left(x^2y - \frac{1}{3}y^3\right) + c(x^2 + y^2)^2 \quad (14)$$

где (b, c) – положительные параметры. Эта система является обобщением известной системы Хенона-Хейлеса [17] и, в частности, описывает коллективные квадрупольные колебания поверхности сферической капли, например, из ядерного вещества [18]. В классическом пределе в этой системе существуют регулярные и хаотические режимы движения, а также в ней реализуется сложный переход: регулярность-хаос-регулярность [18]. И уравнение Шрёдингера (3) является инвариантным относительно преобразований, составляющих дискретную группу C_{3v} .

Как известно [14, 15], эта группа имеет три неприводимых представления, из которых два A_1 и A_2 являются одномерными и одно E – двумерное. В Таблицах 3 и 4 приведены уровни энергии для уравнения (13)-(14), вычисленные при двух наборах параметров, при которых в классическом пределе при наборе $b = 0,018$ и $c = 0,000018$ система имеет регулярное движение, а при втором наборе $b = 0,42$ и $c = 0,0098$ классическое движение является хаотическим.

Таблица 3

Энергетический спектр гамильтониана (14) при $b = 0.018$, $c = 0.000018$

Table 3

The energy spectrum of the Hamiltonian (14) at $b = 0.018$, $c = 0.000018$

n	E_n	Тип симметрии	n	E_n	Тип симметрии
0	1,02000	A_1	4	3,95000	A_1
1	1,94999	E	5	3,99999	A_2
2	2,95000	A_1	6	4,00000	E
3	2,99999	E	7	4,94999	A_1

Таблица 4

Нижайшие энергетические уровни гамильтониана (14) при $b = 0.42$, $c = 0.0098$

Table 4

The lowest energy levels of the Hamiltonian (14) at $b = 0.42$, $c = 0.0098$

n	E_n	Тип симметрии	n	E_n	Тип симметрии
0	0,01459	A_1	4	2,44596	A_1
1	0,97753	A_1	5	2,70727	E
2	1,44356	A_1	6	2,93225	E
3	1,91427	E	7	3,30407	E

Вычисленные значения уровней энергии были сравнены с имеющимися результатами других авторов и рассчитанных другими методами. Получено достаточно хорошее согласие. К примеру, в частности, величины энергетических уровней E -типа в работе [19] получены диагонализацией

гамильтоновой матрицы размерностью 495×495 , а в нашем методе та же точность достигается при решении системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка, состоящей только из восьми уравнений. На рисунке 4 показана узловая структура волновой функции E -типа для уровня энергии $E = 6,989034$.

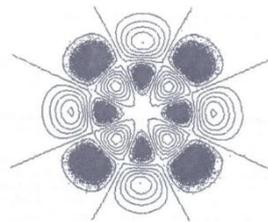


Рис. 4. Узловая структура волновой функции E -типа для уровня энергии $E = 6.989034$. Положительные значения функции – светлые области, а отрицательные значения – в затемненной области

Fig. 4. Nodal structure of the wave function E -type for the energy level $E = 6.989034$. Positive values of the function are in the light areas, and negative values are in the darkened area

Методом самосогласованного базиса найдены решения для следующего уравнения Шрёдингера:

$$\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) + V(x, y) \right] \psi(x, y) = E \psi(x, y) \quad (15)$$

$$V(x, y) = \frac{1}{2}(x^2 + y^2) + bx^2y^2 - c(x^2 + y^2)^2 + dx^2y^2(x^2 + y^2) + e(x^2 + y^2)^3. \quad (16)$$

Поверхность потенциальной энергии (16) является достаточно сложной: имеет пять локальных минимумов и четыре седловые точки. Можно проверить, что данное уравнение имеет дискретную C_{4v} симметрию. В классическом пределе рассматриваемая система является неинтегрируемой и в ней существуют, как регулярные, так и хаотические режимы движения, кроме того, в ней реализуется сложный переход: регулярность-хаос-регулярность. Из-за указанной симметрии квантовые состояния уравнения Шрёдингера классифицируются по пяти неприводимым представлениям этой группы, из которых A_1, A_2, B_1, B_2 – одномерные и одно E – двумерное. В таблице 5 приведены нижние уровни энергии, вычисленные методом самосогласованного базиса.

Таблица 5

Энергетические уровни уравнения Шрёдингера (15)-(16) с параметрами $b = 5/12, c = 1/24$

Table 5

Energy levels of the Schrodinger equation (15)-(16) with parameters $b = 5/12, c = 1/24$

n	E_n	Тип симметрии
0	1,20867	A_1
1	2,38380	$E_1 = E_2$
2	3,56560	B_1
3	3,87241	B_2
4	3,87573	A_1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе так называемым методом самосогласованного базиса были решены три двумерные уравнения Шрёдингера, которые являются инвариантными относительно преобразований, составляющих одну из дискретных групп C_{2v} , C_{3v} , и C_{4v} . На примере уравнения Шрёдингера с симметрией C_{2v} достаточно детально и понятно изложены все этапы решения методом самосогласованного базиса. В этом методе решение исходного уравнения Шрёдингера сводится к решению конечной системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка, из общего решения которого с учетом граничных условий на волновую функцию находятся, как уровни энергии, так и сами волновые функции определенного типа согласно известным неприводимым представлениям конкретной дискретной группы. В используемом методе по одной переменной проводится точное (численное) интегрирование, а по другой переменной, в общем, бесконечная система заменяется конечной системой обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. В таком подходе коэффициенты-функции в исходном разложении в ряд Фурье будут согласованы с видом дифференциального уравнения и, в частности с видом поверхности потенциальной энергии, которая может быть очень сложной, например, иметь пять локальных минимумов и четыре седловины.

Важной положительной и существенной особенностью метода самосогласованного базиса является возможность все его этапы, как аналитические, так и численные выполнить при помощи известных компьютерных систем символьных вычислений таких как Maple, Mathematica, Reduce, др. В настоящей работе была использована система Maple, в которой были составлены соответствующие программы, с помощью которых получены все представленные результаты. Для указанных уравнений Шрёдингера были различные уровни энергий и волновые функции, для некоторых из них были построены трехмерные изображения и изолинии. Проведено сравнение вычисленных нами значений энергии с имеющимися в литературе результатами других авторов и получено достаточно хорошее согласие. В одном случае для уравнения Шрёдингера с C_{3v} симметрией было обнаружено, что высокая точность расчета уровней энергии методом самосогласованного базиса достигается с намного меньшим объемом вычислений по сравнению с методом диагонализации. Обнаружено также, что для вычисления уровней энергии из той области энергий, где классическое движение является хаотическим требуется более тщательная подгонка имеющихся двух параметров. Отметим, что используемый метод можно применить для решения различных других задач на собственные значения.

Список литературы

1. Веницкий С.И. Решение двумерного уравнения Шрёдингера в самосогласованном базисе / С.И. Веницкий, Е.В. Инопин, Н.А. Чеканов. Препринт ОИЯИ Р4-93-50, 1993. 12 с.
2. Чеканов Н.А. Численное решение стационарного уравнения Шрёдингера в приближении самосогласованного базиса / Н.А. Чеканов, Ю.А. Уколов // Материалы международного семинара «Супервычисления и математическое моделирование». Саров, ВНИИЭФ, 2004. С.101-102.
3. Беляева И.Н. Полуклассические расчеты энергетических уровней и волновых функций гамильтоновых систем с одной и несколькими степенями свободы на основе метода классических и квантовых нормальных форм / И.Н. Беляева, Н.И. Корсунов, Н.А. Чеканов, А.Н. Чеканов // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов, 2023. Вып. 15. С.255-263.
4. Уилкинсон Дж., Райнш К. Справочник алгоритмов на языке АЛГОЛ. Линейная алгебра. М.: Машиностроение, 1976. 392 с.
5. Маслов В.П., Федорюк М.В. Квазиклассические приближения для уравнений квантовой механики. М.: Наука, 1976. 292 с.
6. Фреман П.У., Фреман Н. ВКБ-приближение. М.: Мир, 1967. 168 с.
7. Борн М. Лекции по атомной механике. Харьков-Киев: ГНТИ, 1934. 312 с.
8. Ульянов В.В. Интегральные методы в квантовой механике. Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьковском Университете, 1982. 160 с.
9. Голуб Дж., Ван Лоун Ч. Матричные вычисления. М.: Мир, 1999. 549 с.

10. Пузынин И.В. Обобщенный непрерывный аналог метода Ньютона для численного исследования некоторых нелинейных квантово-полевых моделей // ФЭЧАЯ, 1999. Т.30. Вып. 1. С. 210-265.
11. Глазунов Ю.Т. Вариационные методы. Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика»: Институт компьютерных исследований, 2006. 470 с.
12. Канторович Л.В., Крылов В.И. Приближенные методы высшего анализа. Л., Физматгиз, 1962. 708 с.
13. Banerjee K. The anharmonic oscillator / K. Banerjee, S.P. Bhatnagar, V. Choudhry, S.S. Kanwal // Proc. R. Soc. Lond., 1978. A.360. P.575-586.
14. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. том III. М.: гос. Изд-во физ.-мат. лит., 1963. 704 с.
15. Хейне В. Теория групп в квантовой механике. М.: Наука, 1963. 521 с.
16. Беляева И.Н., Лукьяненко А.Н., Чеканов Н.А. Программа вычисления собственных значений и функций симметричного двумерного оператора Шрёдингера методом самосогласованного базиса. Свидетельство об отрасл. Регистрации разработки №8364. Зарегистр.в отрасл. фонде алгоритмов и программ ФГНУ 21.05.2007.
17. Henon M., Heiles C. The applicability of the third integral of motion: some numerical experiments // Astr. J., 1964. V.69. N.1. P.73-91.
18. The transition regularity – chaos – regularity and statistical properties of energy spectra / Yu.L. Bolotin, V.Yu. Gonchar, V.N. Tarasov, N.A. Chekanov // Phys. Lett. 1989. V. A135. P. 29-32.
19. Проявления стохастичности в спектрах некоторых гамильтоновых систем с дискретной симметрией / Ю.Л. Болотин, С.И. Виницкий, В.Ю. Гончар, Н.А. Чеканов. Препринт ОИЯИ Р4-89-590, 1989. 12 с.

References

1. Vinitsky S.I. Solution of the two-dimensional Schrödinger equation in a self-consistent basis / S.I. Vinitsky, E.V. Inopin, N.A. Chekanov. Preprint JINR P4-93-50. 1993. – 12 p.
2. Chekanov N.A. Numerical solution of a stationary equation Schrödinger in the self-consistent basis approximation / N.A. Chekanov, Yu.A. Ukolov // Materials of the international seminar “Supercomputing and mathematical modeling”. Sarov, VNIIEF, 2004. P. 101-102.
3. Belyaeva I.N. Semiclassical calculations of energy levels and wave functions of Hamiltonian systems with one and several degrees of freedom based on the method of classical and quantum normal forms / I.N. Belyaeva, N.I. Korsunov, N.A. Chekanov, A.N. Chekanov // Physico-chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials, 2023, No. 15. P.255-263.
4. Wilkinson J. Handbook of algorithms in the ALGOL language. Linear algebra / J. Wilkinson, K. Reinsch. M.: Mechanical Engineering, 1976. 392 p.
5. Maslov V.P., Fedoryuk M.V. Semiclassical approximations for the equations of quantum mechanics. M.: Nauka, 1976. 292 p.
6. Freman P.U., Freman N. WKB approximation. M.: Mir, 1967. 168 p.
7. Born M. Lectures on atomic mechanics. Kharkov-Kyiv: GNTI, 1934. 312 p.
8. Ulyanov V.V. Integral methods in quantum mechanics. Kharkov: Vishcha school. Publishing house at Kharkov University, 1982. 160 p.
9. Golub J., Van Loon C. Matrix calculations. M.: Mir, 1999. 549 p.
10. Puzynin I.V. A generalized continuous analogue of Newton’s method for the numerical study of some nonlinear quantum field models // FECHAYA, 1999. Vol.30. No 1. P.210-265.
11. Glazunov Yu.T. Variational methods. Moscow-Izhevsk: Research Center “Regular and Chaotic Dynamics”: Institute of Computer Research, 2006. 470 p.
12. Kantorovich L.V., Krylov V.I. Approximate methods of higher analysis. L., Fizmatgiz, 1962. 708 p.
13. Banerjee K. The anharmonic oscillator / K. Banerjee, S.P. Bhatnagar, V. Choudhry, S.S. Kanwal // Proc. R. Soc. Lond., 1978. A.360. P.575-586.
14. Landau L.D., Lifshits E.M. Quantum mechanics. Non-relativistic theory. volume III. M.: state. Publishing house of physics and mathematics. lit., 1963. 704 p.
15. Heine V. Group theory in quantum mechanics. M.: Nauka, 1963. 521 p.
16. Belyaeva I.N., Lukyanenko A.N., Chekanov N.A. A program for calculating eigenvalues and functions of the symmetric two-dimensional Schrödinger operator using the self-consistent basis method. Certificate of industry Development registration No. 8364. Registered in the industry Fund of Algorithms and Programs of the Federal State Scientific University 21.05.2007.

17. Henon M., Heiles C. The application of the third integral of motion: some numerical experiments // Astr. J. 1964. V.69. N.1, P.73-91.

18. The transition regularity – chaos – regularity and statistical properties of energy spectra / Yu. L. Bolotin, V.Yu. Gonchar, V.N. Tarasov, N.A. Chekanov // Phys. Lett. 1989. V. A135. P.29-32.

19. Manifestations of stochasticity in the spectra of some Hamiltonian systems with discrete symmetry / Yu.L. Bolotin, S.I. Vinitsky, V. Yu. Gonchar, N.A. Chekanov. Preprint JINR P4-89-590, 1989. 12 p.

Баландин Олег Сергеевич, старший преподаватель кафедры огневой подготовки, Белгородский юридический институт МВД России имени И.Д. Путилина, г. Белгород, Россия

Беляева Ирина Николаевна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры математики, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Чеканов Николай Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, независимый исследователь, г. Белгород, Россия

Чеканов Александр Николаевич, старший преподаватель кафедры обеспечения безопасности на объектах транспорта, Белгородский юридический институт МВД России имени И.Д. Путилина, г. Белгород, Россия

Balandin Oleg Sergeevich, Senior Lecturer, Department of Fire Training and Shooting Preparation, Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russian Federation named after I.D. Putilin, Belgorod, Russia

Belyaeva Irina Nikolaevna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate professor, Associate professor of the Department of Mathematics, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Chekanov Nikolay Aleksandrovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, independent researcher, Belgorod, Russia

Chekanov Aleksandr Nikolaevich, Senior Lecturer, Department of Security at Transport Facilities, Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russian Federation named after I.D. Putilin, Belgorod, Russia

УДК 519.688

DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-3

**Стеценко О.Н.
Хлопов В.В.
Акиншин Д.И.
Минченко Е.С.****РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ МУЛЬТИАГЕНТНОГО
ПОДХОДА К КОДИРОВАНИЮ ВИДЕОДАНЫХ**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
ул. Костюкова, 46, Белгород, 308012, Россия*e-mail: stetsenkoon81@yandex.ru***Аннотация**

Целью исследования является разработка концепции мультиагентного подхода к кодированию видеоданных для повышения качества видеоряда и увеличения битовой скорости за счет использования мультиагентной системы. Следствием увеличения объемов мультимедийной информации, а также существующих ограничений стандартных кодеков, являются условия, в которых поддержание качества видеоряда на нужном уровне не может быть гарантировано. В частности, существующие схемы обработки не обладают гибкостью в плане возможности коррекции параметров обработки предшествующих этапов кодирования относительно текущего. Возможным решением данной проблематики может служить децентрализация процесса кодирования с одновременным отходом от жесткого конвейерного сценария. В работе рассматривается подход к обработке кадров видеопотока на основе мультиагентной системы. Предлагается концепция мультиагентной системы, ориентированной на реализацию механизмов кодирования видеопотока на основе стандартных схем базовой технологии обработки MPEG-семейства. Рассмотрена обобщенная структура мультиагентной системы, типовых агентов (внутренней, а также межкадровой обработки), а также логика их взаимодействия. Основной упор сделан на внутрикадровую обработку. Отдельно рассмотрены возможные режимы работы мультиагентной системы, а именно – обучающий, основной и режим коррекции. В рамках предлагаемого подхода обрабатываемым кадрам, исходя из особенностей их содержания, ставится в соответствие совокупность параметров кодера, которые в дальнейшем могут корректироваться, исходя из полученной величины битовой скорости и текущего уровня ошибки. За счет этого возможно достичь существенного сокращения времени обработки как следствие значительного сужения пространства возможных значений параметров кодирования.

Ключевые слова: мультиагентная система; архитектура МАС; интеллектуальный агент; распознавание видеок кадров; обработка видеоданных; кодирование видео; искусственный интеллект

Для цитирования: Стеценко О.Н., Хлопов В.В., Акиншин Д.И., Минченко Е.С. Разработка концепции мультиагентного подхода к кодированию видеоданных // Научный результат. Информационные технологии. – Т.10, №2, 2025. С. 25-37. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-3

**Stetsenko O.N.
Khlopov A.M.
Akinshin D.I.
Minchenko E.S.**

**DEVELOPMENT OF THE CONCEPT
OF A MULTI-AGENT APPROACH TO VIDEO
DATA ENCODING**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia

e-mail: stetsenkoon81@yandex.ru

Abstract

The aim of the study is to develop a concept of a multi-agent approach to video data coding to improve the quality of the video sequence and increase the bit rate through the use of a multi-agent system. The increase in multimedia data volume and the existing limitations of standard codecs lead to conditions where maintaining the required video stream quality cannot be guaranteed. In particular, existing processing schemes lack flexibility regarding the possibility of correcting processing parameters of preceding encoding stages relative to the current one. A possible solution to this problem could be the decentralization of the encoding process coupled with a departure from a rigid pipeline scenario. This paper considers an approach to video stream frame processing based on a multi-agent system. A concept for a multi-agent system oriented towards implementing video stream encoding mechanisms based on standard processing schemes of the MPEG family technology is proposed. The generalized structure of the multi-agent system, typical agents (intra-frame and inter-frame processing), and their interaction logic are discussed. The main focus is placed on intra-frame processing. Possible operating modes of the multi-agent system are separately considered, namely – training, main, and correction modes. Within the proposed approach, processed frames are associated with a set of encoder parameters based on their content characteristics, which can subsequently be corrected based on the obtained bitrate and the current error level. This allows for a significant reduction in processing time as a result of significantly narrowing the space of possible encoding parameter values.

Keywords: multi-agent system; MAS architecture; intelligent agent; video frame recognition; video data processing; video encoding; artificial intelligence

For citation: Stetsenko O.N., Khlopov A.M., Akinshin D.I., Minchenko E.S. Development of the concept of a multi-agent approach to video data encoding // Research result. Information technologies. – Т.10, №2, 2025. – P. 25-37. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-3

СУЩНОСТЬ И ОСОБЕННОСТИ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ

Какой угодно технологический цикл классической (монолитной) архитектуры условно может быть рассмотрен как совокупность отдельных технологических этапов, связанных меж собой.

При этом он может иметь как линейную, так и разветвленную структуру.

Как для первого, так и для второго случая цикл включает в себя определенное общее количество ξ технологических операций. В некоторых случаях такое количество действий должно быть выполнено в реальном времени, иначе говоря, время обработки t_{sh} на конечном узле должно быть минимальным:

$$t_{sh} \rightarrow 0 \quad (1)$$

В таких условиях, с одной стороны, уменьшению величины t_{sh} способствует распараллеливание вычислительного процесса на несколько логических независимых потоков.

С другой стороны, ряд технологических процессов построен по конвейерной архитектуре – то есть последующий этап обработки требует в качестве исходных данных результатов вычислений предыдущего этапа, что ограничивает подход с использованием распараллеливания вычислений.

В отличие от монолитных систем, мультиагентная система (МАС) может рассматриваться как совокупность независимых обработчиков – интеллектуальных агентов (ИА), задействованных в

едином технологическом цикле [1].

Такой способ организации МАС позволяет:

- существенно уменьшить время для выполнения вычислительных действий за счет делегирования функций каждого из технологических этапов отдельным агентам;

- обеспечить значительно более высокие показатели качества результата выполнения процесса вычисления.

Этому, в свою очередь, способствуют основные свойства МАС, а именно:

- **автономность** – то есть агенты, хотя бы частично, независимы между собой;

- **децентрализация** – общий управляющий агент, задающий работу всей МАС, отсутствует;

- **ограниченность представления** – ни один из агентов «не представляет» всей структуры системы, или система достаточно сложна, чтобы «знание» о ней имело практическое значение для агента.

- **самоорганизация** – агенты выполняют задачи поиска оптимальных решений без внешнего вмешательства;

- **гибкость** – система может быть дополнена или модифицирована без изменения ее структуры.

Применение мультиагентной системы для обработки видеоданных в реальном времени [2-4].

Для уменьшения требуемого количества вычислений и времени обработки предполагается применение МАС в ходе кодирования видео. При этом схема MPEG формируется множеством A агентов обработки, а именно:

$$A = \{\alpha_{cs}; \alpha_{sd}; \alpha_{op}; \alpha_q; \alpha_{en}; \beta_{gs}\} \quad (2)$$

где α_{cs} – агент смены цветовой схемы;

α_{sd} – агент выбора модели цветовой субдискретизации;

α_{op} – агент, обеспечивающий процесс ортогонального превращения;

α_q – агент квантования;

α_{en} – агент кодирования;

β_{gs} – агент построения группы кадров.

Формула (2) показывает, что агенты разделены на группы α и β . Здесь группу α формируют агенты, совершающие те или иные действия в ходе внутрикадровой обработки [5, 6].

В то же время, агент группы β выполняет обработку видео после обработки отдельных кадров, отвечая за выбор длины и особенности построения группы кадров на этапе формирования видеопотока. То есть, производит обработку в плоскости времени.

Общий алгоритм обработки на базе МАС в этом случае сводится к выбору и применению оптимальных E' опций кодировки для каждого этапа.

При этом, из формулы (2) агент α_{cs} может быть исключен при условии, что общий процесс обработки использует только одну ярко-хроматическую цветовую модель, например YUV, следовательно, какие-либо опции при этом отсутствуют.

С учетом всего вышесказанного общий перечень действий в ходе кодирования видео на базе МАС будет следующим:

1. Определение множества оптимальных параметров кодирования для каждого из агентов на базе сведений о требованиях Q к качеству реконструированного видеопотока, т.е.:

$$\{E'\} = f(Q) = \bigcup_{i=1}^n \bar{E}'_i, \quad (3)$$

где \bar{E}'_i – оптимальные параметры кодирования для одного агента МАС (одного этапа обработки).

При этом для каждого i -го агента МАС перечень оптимальных опций определяется с использованием общих требований Q и параметров видеоданных – в частности, текущего уровня качества Q_{i-1} после обработки на предыдущем шаге, требований по битовой скорости B видео потока и прогнозируемой битовой скорости с учетом обработки на $(i-1)$ -му шагу, т.е. B_{i-1} :

$$\bar{E}'_i = \psi(Q; B; Q_{i-1}; B_{i-1}), \quad (4)$$

где B и Q – доступная результирующая величина битовой скорости кодируемого видеопотока, поступающая в выходной буфер передатчика, и установленные параметры качества;

B_{i-1} и Q_{i-1} – величина битовой скорости кодируемого видео потока, и, соответственно, показатели качества после $(i-1)$ -го шага обработки.

2. Применение определенных оптимальных параметров кодировки. При этом выполняется:

- обработка данных по алгоритму, определенному общей базовой технологией для данного МАС;

- вычисление величин B_i и Q_i , полученных в результате обработки;

- передача обработанных данных и значений величин B_i и Q_i $(i+1)$ -му агенту.

3. Корректировка множества $\{E'\}$.

Схематически данный процесс может быть изображен, как показано на рис. 2.

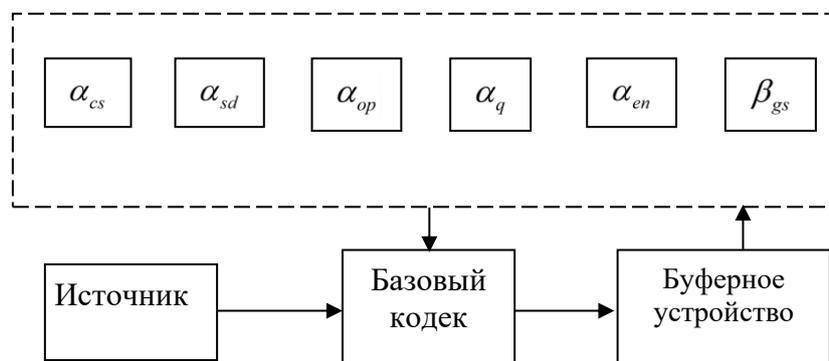


Рис. 1. Общая схема мультиагентной обработки видеопотока

Fig. 1. General scheme of multi-agent video stream processing

ОБЩАЯ СТРУКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА МАС

Классический алгоритм обработки данных, входящий в многоэтапную монолитную конвейерную систему, в общем случае обеспечивает исключительно преобразование полученной информации предварительно заданным способом.

В отличие от такого способа обработки, интеллектуальный агент в ходе работы может выполнять следующий перечень действий:

- прием и анализ полученных данных;

- определение особенности сценария обработки на базе выявленных закономерностей в ходе анализа данных;

- выбор и применение набора опций обработки в соответствии с определенным сценарием;

- оценка полученных величин B_{i-1} и Q_{i-1} и ведение статистики зависимостей параметров

кодирования \bar{E}'_i и значений B_{i-1} и Q_{i-1} .

Для каждого фрагмента, подлежащего обработке, предварительно выполняется оценка особенностей его содержания. В частности, предполагается наличие градации типов фрагментов по ряду признаков, например:

- по признаку происхождения (фотоматериал, компьютерная графика или комбинация указанных двух типов);
- по цветовой схеме (полно цветное изображение или оттенки одного цвета);
- по информативности (наличие контурной информации или текстур).

Особенности фрагмента, определяемого комбинацией признаков [7, 8], определяют особенности обработки каждым из агентов MAC, как это показано в таблице 1.

Таблица 1

Определение особенностей обработки фрагмента в MAC по совокупности признаков

Table 1

Determination of the features of fragment processing in MAC by a set of features

Происхождение (P)	Фото (F)	Компьютерная графика (G)	Комбинированный (C)
Цветовая схема (Φ)	RGB	Оттенок одного канала ($1CH$)	Биадическая (B)
Информативность (I)	Высокая (H)	Средняя (M)	Низкая (L)

На основе определенных особенностей формируется 27 изначальных признаков комбинаций $\Phi(P; \Theta; I)$, задающих начальный набор опций обработки для всей системы MAC (таблица 2) [9, 10].

Таблица 2

Признаковые комбинации для выбора начальных опций обработки видеокадров в MAC

Table 2

Feature combinations for selecting initial options for processing video frames in MAC

Признаковая комбинация $\Phi(P; \Theta; I)$	Предварительные параметры кодирования	
	Модель цветовой субдискретизации (ξ)	Шаг квантования ($K = \overline{1; 12}$)
(F)(RGB)(H)	4:4:4-4:2:2	1-2
(F)(RGB)(M)	4:2:2	2
(F)(RGB)(L)	4:2:1-4:2:0	3-4
(F)(1CH)(H)	4:1:1	4-5
(F)(1CH)(M)	4:1:1	5-6
(F)(1CH)(L)	4:1:1	6-8
(F)(B)(H)	4:0:0 (канал Y)	6-8
(F)(B)(M)	4:0:0 (канал Y)	6-8
(F)(B)(L)	4:0:0 (канал Y)	8-10
(G)(RGB)(H)	4:2:2	2-3
(G)(RGB)(M)	4:1:1	3-4
(G)(RGB)(L)	4:1:1	4-5
(G)(1CH)(H)	4:1:0	6-8
(G)(1CH)(M)	4:1:0	8-10
(G)(1CH)(L)	4:1:0	10-12
(G)(B)(H)	4:0:0 (канал Y)	6-8
(G)(B)(M)	4:0:0 (канал Y)	8-10
(G)(B)(L)	4:0:0 (канал Y)	11-12
(C)(RGB)(H)	4:2:2	2
(C)(RGB)(M)	4:2:1	2-3

(C)(RGB)(L)	4:2:1-4:2:0	3-5
(C)(1CH)(H)	4:1:1	5-6
(C)(1CH)(M)	4:1:1	6-8
(C)(1CH)(L)	4:1:1	8
(C)(B)(H)	4:0:0 (канал Y)	8
(C)(B)(M)	4:0:0 (канал Y)	8
(C)(B)(L)	4:0:0 (канал Y)	8-10

Далее полученной признаковой комбинации $\Phi(P; \Theta; I)$ ставится в соответствие пара значений – модель ξ цветовой субдискретизации и шаг K квантования, потенциально способных обеспечить величины B и Q на приемлемом уровне:

$$\Phi(P; \Theta; I) \rightarrow (\xi, K) \mid (B; Q) \rightarrow \text{suitable}. \quad (5)$$

В свою очередь, множество признаковых комбинаций и связанных с ними величин ξ и K , по которым выполняется условие (5), формирует модель обработки M .

Другими словами, модель обработки является функционалом от $\Phi(P; \Theta; I)$, на базе которого осуществляется выбор определенных значений опций кодировки

Кроме величин ξ и K , сюда входит также выбор алгоритма кодирования η на последнем этапе (по Хаффману, арифметическое, структурно-комбинаторное и другие) и выбор алгоритма μ ортогонального преобразования (ДКП, Уолша, Хаара и другие). Последние два параметра, а именно – η и μ определяются с учетом имеющихся вычислительных возможностей Ξ системы и доступные временные T лимиты. Итак, в этом случае модель обработки может быть описана следующим выражением:

$$M = \varphi(\Phi(P; \Theta; I); \xi; K; \eta, \mu(T; \Xi); B; Q) \mid (B; Q) \rightarrow \text{suitable}. \quad (6)$$

То есть, в физическом смысле модель M определяет для фрагмента изображения по его признакам $\Phi(P; \Theta; I)$ перечень опций кодирования, которые могут обеспечить битовую скорость и качество реконструированного изображения на приемлемом уровне [11]. Понятно, что при этом, при наличии 11 теоретически взаимно зависимых параметров, а именно $P, \Theta, I, \xi, K, \mu, \eta, \Xi, T, B$ и Q общее количество N моделей обработки для всего процесса внутри кадрового кодирования будет не меньше, чем:

$$N \geq 11^v, \quad (7)$$

где v – наименьшее количество градаций одного из параметров модели.

Понятно, что при простейших условиях $v=2$ (что, например, соответствует выбору из двух возможных значений параметра) $N = 121$. На практике же только комбинаций P, Θ и N будет 27.

Таким образом, построение и использование общей модели обработки, как это могло быть в монолитных системах, превращается в почти неразрешимую задачу [12]. Поэтому для существенного сокращения объема расчетов и обеспечения обработки и оптимизации параметров в реальном времени МАС использует частичные модели M' **обработки**, создаваемые для каждого i -го агенту отдельно, т.е.

$$M' = \bigcup_{j=1}^n \alpha_i(\varepsilon_j), \quad (8)$$

где $j = \overline{1, n}$ – возможный диапазон изменения величины параметра ε_j агенту α_i .

В свою очередь, на базе частичной модели обработки выбирается **список параметров обработки**, с использованием которых будут выполнены определенные действия в функциональном модуле. Такие действия определяются тем, каким именно агентом в общей модели МАС они выполняются.

При этом существенное сокращение объема вычислений здесь достигается за счет того, что обычно каждый агент в нашем случае имеет только один изменяющийся параметр.

После выполнения действий в функциональном модуле выполняется фиксация статистических данных (**модуль оперативной статистики**) – тип фрагмента по $\Phi(P; \Theta; I)$, выбранное значение параметра ε_j агента и полученные значения B_i и Q_i . При этом, если величины B_i и Q_i не будут приемлемыми, соответствующая частичная модель будет далее скорректирована.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ МАС ПРИ ВНУТРИКАДРОВОМ КОДИРОВАНИИ

Как показывает анализ общих принципов функционирования МАС в ходе кодирования видеоданных, даже при использовании частичных моделей обработки выбор оптимальных параметров сжатия может потребовать значительных объемов корректировок, и при этом не может гарантироваться обработка в реальном времени.

Для решения данной проблематики используется многорежимный подход к функционированию МАС, а именно:

- режим обучения;
- основной режим;
- режим корректировки.

РЕЖИМ ОБУЧЕНИЯ МАС

Обучение МАС представляет собой обработку большого количества разнотипных фрагментов видеокладов, первоначально руководствуясь параметрами кодирования, заданными табл. 1, и установленные значения Q и B . Режим обучения является ключевым в работе МАС и направлен на установку узких диапазонов значений j приемлемого параметра кодирования для каждого из агентов α_i в зависимости от величин P, Θ, I, Ξ, T, B и Q .

По сути, обучение МАС сводится к итерационному поиску опций для каждого из ИА, что обеспечит выполнение условия оптимального кодирования, то есть [13]:

$$B, Q \rightarrow \text{suitable} . \quad (9)$$

Процесс обучения МАС включает в себя такие этапы работы, как:

- определение совокупности признаков обрабатываемого фрагмента;
- оценка величин Ξ и T ,
- применение базового списка опций кодирования, заданных табл.2;
- применение базовых параметров μ, η ;
- оценка текущих B_i и Q_i фрагмента по результатам обработки;
- запись значений избранных μ, η, K и ξ при имеющихся условиях Ξ и T , а также полученных при этом B_i и Q_i в модуль оперативной статистики;
- оценка полученных величин B_i и Q_i на предмет отклонения от оптимальных значений по биминимальному критерию, что может быть описано выражением:

$$\begin{cases} B_i \rightarrow \min \\ Q_i \rightarrow \min \end{cases}; \quad (10)$$

- изменение параметров кодирования в зависимости от наличия и характера отклонения значений B_i и Q_i от критерия (10);

- запись откорректированных значений параметров кодирования, то есть уточнения частичной модели обработки.

Схема формирования долевой модели M' обработки в МАС приведены рисунок 2.

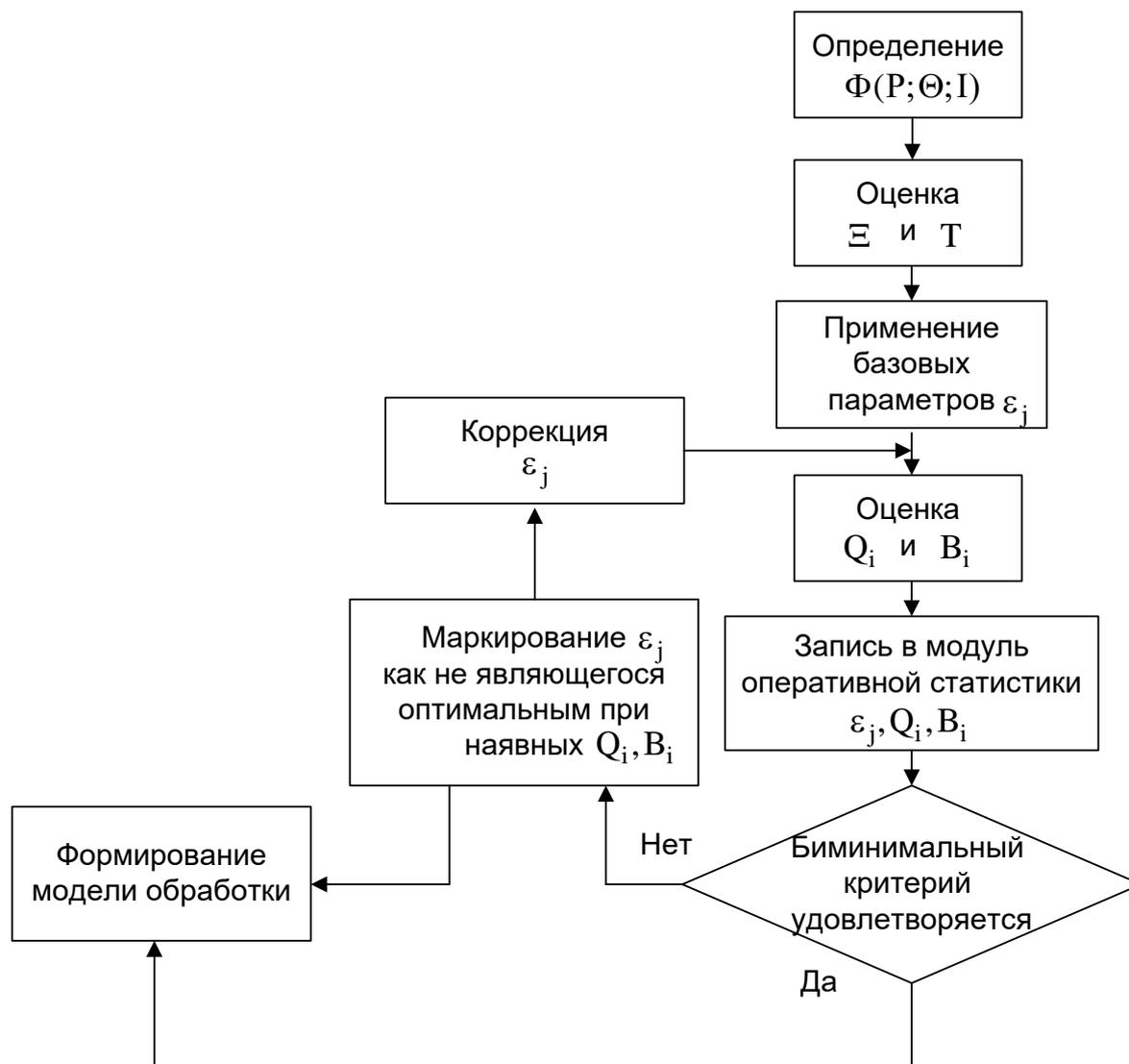


Рис. 2. Схема формирования частичной модели обработки в МАС

Fig. 2. The scheme of forming a partial processing model in MAC

После того, как множество частичных моделей M' обработки сформировано, МАС может работать в основном режиме.

ОСНОВНОЙ РЕЖИМ РАБОТЫ МАС В ХОДЕ КОДИРОВАНИЯ ВИДЕО

При наличии сформированной модели M обработки, как множества частичных моделей M' , в основном режиме работы МАС выполняются следующие действия (рисунок 3):

- оценка величин P, Θ, I, Ξ, T ;

- выбор подходящей модели M' (ε_j в частных моделях) из сформированного множества (при этом $M' = f(P, \Theta, I, \Xi, T)$);
- оценка соответствия полученных величин B_i и Q_i критерия (10).

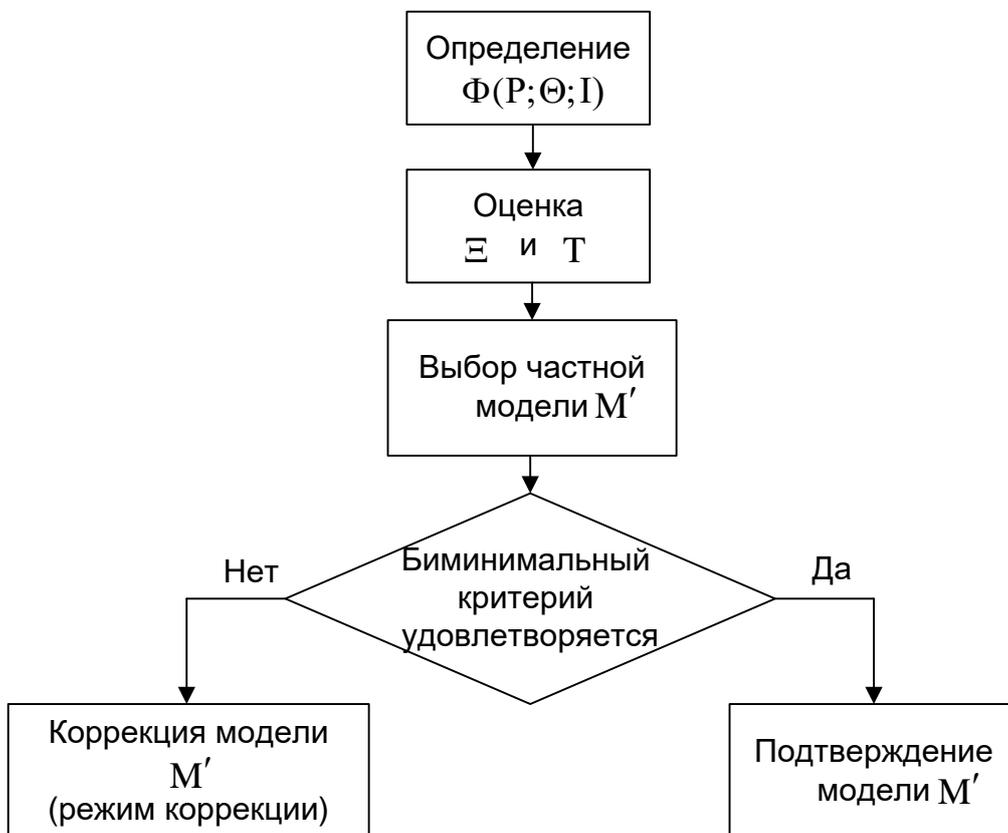


Рис. 3. Базовая схема работы MAC в основном режиме
Fig. 3. The basic scheme of MAC operation in the main mode

В случае, когда величины B_i и Q_i не являются оптимальными, принимается решение об изменении величины параметра ε_j .

РЕЖИМ КОРРЕКТИРОВКИ ПАРАМЕТРОВ MAC

Данный режим является частным случаем основного режима, который активируется в случаях, когда в ходе обработки данных тем или иным ИА возникает необходимость изменения значения параметра ε_j .

Такие изменения выполняются в реальном времени и при текущей обработке i -го сегмента данных будут применены относительно $(i + \mathcal{G})$ -го сегмента ($\mathcal{G} = \overline{1; \infty}$), имеющий такой же набор характерных признаков, как и i -и сегмент, т.е.

$$\Phi(P; \Theta; I)_i = \Phi(P; \Theta; I)_{i+\mathcal{G}}. \quad (11)$$

РАБОТА МАС В РЕЖИМЕ МЕЖКАДРОВОГО КОДИРОВАНИЯ

Данный режим обработки видеоданных может использоваться отдельно от МАС, отвечающей за внутри кадровое кодирование и актуален тогда, когда в ходе работы агентов группы α не было обеспечено:

- выполнение условий (10);
- уменьшение битовой скорости видео потока до такой, когда $B \leq W$, то есть не превышает пропускную способность канала.

В этом случае дополнительное уменьшение битовой скорости видео достигается за счет изменения размерности Λ группы кадров (GOP), содержащая один опорный I -кадр, несколько предусмотренных P -кадров и двунаправленно-предусмотренные кадры (кадры B -типа) [14, 15].

Базовый вариант модели MPEG подразумевает 8 кадров в составе группы [16-18]. Последующие коррективы стандарта привели к увеличению Λ . В частности, рекомендация H.264 позволяет настраивать величину Λ в диапазоне от 8 до 32 кадров. При этом справедливы следующие закономерности:

- количество опорных кадров группы является неизменным для любых значений Λ ;
- множество кадров P и B -типа формируется разницей Ψ изменения сцен в ходе транслирования видео потока между соседними I -кадрами.

На базе этого понятно, что увеличение величины Λ ведет к уменьшению среднего количества бит, приходящихся в группе в кадры P и B -типов [19, 20]. Следовательно, в этом случае средняя битовая скорость кадра из группы будет снижаться.

В общем случае достаточно увеличить Λ до максимального значения, поддерживаемого стандартом. Одновременно с этим, рост Λ приводит к росту вычислительной нагрузки на процессор. Поэтому наиболее приемлемым будет выбор величины Λ учитывая также и параметр Ξ .

Тогда общий перечень параметров, формирующих совокупность характерных признаков Φ' для МАС в межкадровом кодировании, будет содержать:

- ресурс вычислительных возможностей Ξ системы;
- разница Ψ смены сцен видео между соседними I -кадрами;

Другими словами, модель M'' межкадровой обработки может быть представлено выражением:

$$M'' = f(\Phi'(\Psi; \Xi)). \quad (12)$$

Аналогично случаю внутрикадрового кодирования, создается базовое множество разниц Ψ . Далее, по выражению (12), формируется первичное множество моделей, которые далее уточняются в ходе обучения, как и в случае МАС на этапе внутрикадрового кодирования.

ПРЕИМУЩЕСТВА МАС КАК МЕХАНИЗМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА КОДИРОВАНИЯ ВИДЕОДАНЫХ

Исходя из рассматриваемого материала можем сделать следующие выводы относительно преимуществ применения МАС в ходе обработки видеоданных:

- в отличие от традиционных технологических процессов обработки видео, сама архитектура МАС и ИА направлена на обеспечение оптимальных параметров кодирования;
- использование ИА для выбора оптимальных параметров кодирования видеоданных в реальном времени позволяет существенно снизить общий объем действий за счет изменения монолитного процесса конвейерного типа рядом подпроцессов, объем действий в рамках каждого из которых будет существенно ниже;

- на каналах обратной связи работы алгоритмов кодирования на базе МАС, при корректировке параметров ε_j ИА может задействоваться распараллеливание поиска оптимальных опций для нескольких агентов одновременно, что позволяет снизить время обработки;
- на базе сформированного множества моделей обработки выбор оптимальных параметров кодирования фактически сводится к сопоставлению множества характерных признаков обрабатываемого сегмента соответствующей модели обработки, что требует минимум вычислений и временных затрат;
- недостатком подхода к построению процесса кодирования видеоданных на базе МАС является значительное время обучения системы агентов и формирование множества моделей обработки; при этом качество обучения напрямую зависит от содержания изображений, анализируемых системой в данном режиме;
- в случае необходимости корректировки моделей обработки поиск приемлемых параметров для каждого ИА осуществляется в достаточно ограниченном пространстве значений ε_j , т.е. коррекция моделей не вносит существенной временной задержки.

Список литературы

1. Beklaryan G.L., Akopov A.S., Khachatryan N.K. Optimisation of system dynamics models using a real-coded genetic algorithm with fuzzy control // Cybernetics and Information Technologies. 2019. Vol. 19. No. 2. P. 87–103. <https://doi.org/10.2478/cait-2019-0017>
2. Bobashev G., Zule W., Root E., Wechsberg W., Borshchev A., Filippov A. 2004 Geographically-Enhanced Mathematical Models of HIV Dynamics. NIDA Symposium on AIDS, Cancer and Related Problems, St. Petersburg, Russia.
3. Rozhentsova N., Regir O., Kotsubinski A. and Fetisov L. Development of a Multi-Agent Model of Electric Power Consumer/ 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS), 2019, pp. 1-4, <https://doi: 10.1109/ICOECS46375.2019.8949937>.
4. Иванов Ю.А. Некоторые проблемы сжатия и передачи видео в реальном времени в беспроводных сетях // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2009 – Т. 5 – № 1 – С. 62-64.
5. Hsu W.-L., Tsai Ch.-L., Chen Ch.-J., Multi morphological image data hiding based on the application of Rubik's cubic algorithm. Carnahan Conference on Security Technology (ICCST): proceedings of the IEEE International Conference. 2012. P. 135–139. DOI:10.1109/CCST.2012.6393548.
6. Chen T. et. al.: End-to-End Learnt Image Compression via Non-Local Attention Optimization and Improved Context Modeling. IEEE Transactions on Image Processing, 2021, 3179–3191 [<https://doi.org/10.1109/tip.2021.3058615>].
7. Russ J.C., Neal F.B.: The Image Processing Handbook. 7th Edition. CRC Press, 2018.
8. Rao K. et. al.: JPEG Series. 1st edition. River Publishers, 2021.
9. Information technology – JPEG 2000 image coding system: Secure JPEG 2000. International Standard ISO/IEC 15444-8, ITU-T Recommendation T. 807, 2007. 108 p.
10. Miano J. Formats and image compression algorithms in action / J. Miano. – Kyiv: Triumph, 2013, 336 p.
11. Абламейко С.В. Обработка изображений: технология, методы, применение / С.В. Абламейко, Д.М. Лагуновский, Минск: Амалфея, 2000. – 304 с.
12. Shirani J.S. JPEG compliant efficient progressive image coding / J.S. Shirani, F. Kossentini // Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). – Seattle. – 1998. – P. 2633-2636. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.1998.678063>.
13. Miano J. Compressed image file formats: JPEG, PNG, GIF, XBM, BMP / J. Miano. – Moscow: ACM, 1999. – 264 p.
14. Pratt W. Slant transform image coding. Proc. Computer Processing in communications / W.K. Pratt, W.H. Chen, L.R. Welch. – New York: Polytechnic Press, 1969. – 184 p.
15. Efficient hierarchical graph-based video segmentation / M. Grundmann, V. Kwatra, M. Han, I. Essa // 2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – San Francisco. – 2010. – P. 2141-2148.
16. Gonzalez R. Digital image processing / R. Gonzalez, K. Woods. – Kyiv: Tekhnosfera, 2018. – 1104 p.
17. Salomon D. Data Compression: The Complete Reference. Fourth Edition / D. Salomon. – London: Springer-Verlag Limited, 2007. – 899 p.

18. Encoding mode selection in HEVC with the use of noise reduction / O. Stankiewicz, K. Wegner, D. Karwowski, J. Stankowski, K. Klimaszewski // International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP). – Poznan, 2017. – P. 1-6.

19. Christophe E. Quality criteria benchmark for hyperspectral imagery / E. Christophe, D. Lager, C. Mailhes // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2005. – № 9(43). – P. 2103-2114.

20. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: ДИАЛОГ–МИФИ, 2003. – 384 с.

References

1. Beklaryan G.L., Akopov A.S., Khachatryan N.K. Optimisation of system dynamics models using a real-coded genetic algorithm with fuzzy control // Cybernetics and Information Technologies. 2019. Vol. 19. No. 2. P. 87-103. <https://doi.org/10.2478/cait-2019-0017>.

2. Bobashev G., Zule W., Root E., Wechsberg W., Borshchev A., Filippov A. 2004 Geographically-Enhanced Mathematical Models of HIV Dynamics. NIDA Symposium on AIDS, Cancer and Related Problems, St. Petersburg, Russia.

3. N. Rozhentsova, O. Regir, A. Kotsubinski and L. Fetisov. Development of a Multi-Agent Model of Electric Power Consumer // 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS), 2019, pp. 1-4, <https://doi: 10.1109/ICOECS46375.2019.8949937>.

4. Ivanov Yu.A. Some Problems of Video Compression and Transmission in Real Time in Wireless Networks // Electrotechnical and Information Complexes and Systems. – 2009 – Vol. 5 – No. 1 – P. 62-64. (In Russian)

5. Hsu W.-L., Tsai Ch.-L., Chen Ch.-J., Multi morphological image data hiding based on the application of Rubik's cubic algorithm. Carnahan Conference on Security Technology (ICCST): proceedings of the IEEE International Conference. 2012. P. 135–139. DOI10.1109/CCST.2012.6393548.

6. Chen T. et. al.: End-to-End Learnt Image Compression via Non-Local Attention Optimization and Improved Context Modeling. IEEE Transactions on Image Processing, 2021, 3179-3191 [<https://doi.org/10.1109/tip.2021.3058615>].

7. Russ J.C., Neal F.B.: The Image Processing Handbook. 7th Edition. CRC Press, 2018.

8. Rao K. et. al.: JPEG Series. 1st edition. River Publishers, 2021.

9. Information technology – JPEG 2000 image coding system: Secure JPEG 2000. International Standard ISO/IEC 15444-8, ITU-T Recommendation T.807, 2007. 108 p.

10. Miano J. Formats and Image Compression Algorithms in Action. Kyiv: Triumph, 2013, 336 p. (In Russian)

11. Ablameiko S.V., Lagunovsky D.M. Image Processing: Technology, Methods, Application. Minsk: Amalthea, 2000. – 304 p. (In Russian)

12. Shirani J.S. JPEG compliant efficient progressive image coding / J.S. Shirani, F. Kossentini // Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). – Seattle. – 1998. – P. 2633-2636. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.1998.678063>.

13. Miano J. Compressed Image File Formats: JPEG, PNG, GIF, XBM, BMP. Moscow: ACM, 1999. – 264 p. (In Russian)

14. Pratt W., Chen W.H., Welch L.R. Slant transform image coding. Proc. Computer Processing in communications. New York: Polytechnic Press, 1969. – 184 p.

15. Grundmann M., Kwatra V., Han M., Essa I. Efficient hierarchical graph-based video segmentation // 2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – San Francisco. – 2010. – P. 2141-2148.

16. Gonzalez R., Woods K. Digital Image Processing. Kyiv: Tekhnosfera, 2018. – 1104 p. (In Russian)

17. Salomon D. Data Compression: The Complete Reference. Fourth Edition. London: Springer-Verlag Limited, 2007. – 899 p.

18. Stankiewicz O., Wegner K., Karwowski D., Stankowski J., Klimaszewski K. Encoding mode selection in HEVC with the use of noise reduction // International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP). – Poznan, 2017. – P. 1-6.

19. Christophe E., Lager D., Mailhes C. Quality criteria benchmark for hyperspectral imagery // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2005. – № 9(43). – P. 2103-2114.

20. Vatin D., Ratushnyak A., Smirnov M., Yukin V. Data Compression Methods. Archiver Device, Image and Video Compression. Moscow: DIALOG-MIFI, 2003. – 384 p. (In Russian)

Стеценко Оксана Николаевна, ассистент кафедры ПОВТАС, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

Хлопов Андрей Михайлович, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры ПОВТАС, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

Акиншин Данил Иванович, студент кафедры ПОВТАС, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

Минченко Евгений Сергеевич, студент кафедры ПОВТАС, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

Oksana Nikolaevna Stetsenko, Assistant Professor of the Department of Technical Sciences, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

Khlopov Andrey Mikhailovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Sciences, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

Akinshin Danil Ivanovich, Student of the Department of POVTAS, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

Minchenko Evgeny Sergeevich, Student of the Department of Technical Sciences, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

УДК 378.147:004.056

DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-4

Прокушев Я.Е.¹
Заливин А.Н.²
Пономаренко С.В.³
Пономаренко С.А.³**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЧЕБНЫХ ПЛАНОВ
БАКАЛАВРИАТА И СПЕЦИАЛИТЕТА
ПО ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

¹⁾ Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова,
Стремянный переулок, 36, г. Москва, 115054, Россия

²⁾ Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия

³⁾ Белгородский университет кооперации, экономики и права,
ул. Садовая, 116а, г. Белгород, 308023, Россия

e-mail: prokye@list.ru, zalivin@bsuedu.ru, kaf-otzi-spec@bukep.ru, www.major@mail.ru

Аннотация

В настоящее время информационные технологии являются одним из важнейших факторов обеспечения стабильного развития России. В этой связи обеспечение информационной безопасности является одним из приоритетных направлений деятельности. Чтобы успешно противостоять угрозам информационной безопасности, необходимо обеспечить подготовку квалифицированных специалистов в данной сфере. Качество их обучения во многом определяется тем, насколько корректно разработана программа подготовки. Анализ публикаций по данной проблематике показал, что подробно рассматривались такие аспекты, как выбор учебных дисциплин, способы и технологии проведения занятий, проводились сравнения состава дисциплин учебных программ из университетов различных стран мира. Однако, по мнению авторов статьи, недостаточное внимание уделялось рассмотрению такой важной проблемы, как определение последовательности изучения преподаваемых дисциплин в рамках создаваемого учебного плана. Данное обстоятельство и обуславливает актуальность тематики статьи. Целью написания данной статьи является разработка комплекса моделей, описывающих не только примерную совокупность дисциплин, но и последовательность их изучения. Результатом выполнения исследований, представленных в статье, является комплекс графических моделей, который демонстрирует примерный состав дисциплин, их преемственность, взаимосвязь и последовательность изучения. Предложенный в работе метод описания взаимосвязи учебных дисциплин может быть использован для анализа уже существующих учебных планов, а также при проектировании новых.

Ключевые слова: подготовка специалистов по информационной безопасности; организация учебного процесса по информационной безопасности; разработка учебных планов

Для цитирования: Прокушев Я.Е., Заливин А.Н., Пономаренко С.В., Пономаренко С.А. Особенности проектирования учебных планов бакалавриата и специалитета по информационной безопасности // Научный результат. Информационные технологии. – Т. 10, № 2, 2025. – С. 38-48. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-4

Prokushev Y.E.¹
Zalivin A.N.²
Ponomarenko S.V.³
Ponomarenko S.A.³

**THE FEATURES OF DESIGNING BACHELOR'S
AND SPECIALIST'S DEGREE CURRICULA
IN INFORMATION SECURITY**

¹⁾ Plekhanov Russian University of Economics,
36 Stremyanny Lane, Moscow, 115054, Russia

²⁾ Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

³⁾ Belgorod University of Cooperation, Economics and Law,
116a Sadovaya St., 308023, Russia

e-mail: prokye@list.ru, zalivin@bsuedu.ru, kaf-otzi-spec@bukep.ru, www.major@mail.ru

Abstract

Currently, information technology is one of the most important factors in ensuring the stable development of Russia. In this regard, ensuring information security is one of the priority areas of activity. In order to successfully counter threats to information security, it is necessary to ensure the training of qualified specialists in this field. The quality of their education is largely determined by how well the training program has been developed. An analysis of publications on this issue showed that aspects such as the choice of academic subjects, methods and technologies of conducting classes were considered in detail, and comparisons were made between the disciplines of curricula from universities around the world. However, according to the authors of the article, insufficient attention was paid to the consideration of such an important problem as determining the sequence of study of the subjects taught within the framework of the created curriculum. This circumstance determines the relevance of the subject of the article. The purpose of writing this article is to develop a set of models that describe not only an approximate set of disciplines, but also the sequence of their study. The result of the research presented in the article is a set of graphical models that demonstrates the approximate composition of disciplines, their continuity, interrelation and sequence of study. The proposed method of describing the interrelationship of academic disciplines can be used to analyze existing curricula, as well as to design new ones.

Keywords: training of information security specialists; organization of the educational process on information security; development of curricula on information security

For citation: Prokushev Ya.E., Zalivin A.N., Ponomarenko S.V., Ponomarenko S.A. The features of designing bachelor's and specialist's degree curricula in information security // Research result. Information technologies. – Т. 10, №2, 2025. – P. 38-48. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-4

ВВЕДЕНИЕ

Качество подготовки студентов для работы в сфере информационной безопасности зависит от квалификации преподавателей, материального обеспечения учебного процесса, возможности прохождения практических стажировок в организациях.

Однако, еще одним существенным фактором является план обучения студентов. Учебный процесс требуется организовать так, чтобы полученное образование соответствовало ожиданиям как самого студента, так и его будущих работодателей. Учебный план во многом регулирует образовательный процесс, определяет перечень и последовательность преподавания предметов, количество времени, отводимого на их изучение, а также используемые формы проведения занятий. Основное влияние на содержание учебного плана оказывают:

- 1) требования стандартов в области образования, учитывающих направленность подготовки бакалавров по информационной безопасности (защита компьютерных систем, разработка защищенного программного обеспечения, защита телекоммуникационных систем, аналитическая и правовая деятельность в сфере информационной безопасности и т.п.);
- 2) требования профессиональных стандартов в сфере обеспечения информационной

безопасности;

3) требования работодателей к квалификационным навыкам сотрудников;

4) тенденции в сфере информационной безопасности, связанные с внедрением новых технологий обмена и обработки информации, появлением ранее неизвестных угроз.

Проблема разработки учебных планов подготовки специалистов в области информационной безопасности актуальна во многих учебных заведениях вне зависимости от места его нахождения. Это подтверждается значительным количеством публикаций на данную тематику учеными из самых разных стран [5, 10, 13, 14]. Концептуальным, методологическим вопросам формирования образовательных программ посвящены работы [4, 12, 16]. В работе [6] исследуются особенности подготовки магистров в области информационной безопасности. Авторами проведен подробный анализ особенностей разработки программ для подготовки магистров в области кибербезопасности. Однако рассматриваемые программы и методы их составления рассчитаны на то, что магистрант уже имеет базовое образование в области информационной безопасности или информационных технологий. В исследовании [19] рассматриваются подходы к разработке программ для подготовки бакалавров в области инженерии безопасного программного обеспечения. В этой работе также приведен набор дисциплин для подготовки специалистов в этом направлении обеспечения информационной безопасности.

В работе [14] рассматриваются принципы, на основе которых выполняется разработка учебных программ по кибербезопасности.

Подробное сравнение подходов к образованию в области информационной безопасности и состава преподаваемых дисциплин в учебных программах, используемых в США и Китае, было проведено в работе [7]. Проблематика стандартизации, сложности перехода к стандартизированным программам обучения в области кибербезопасности в США рассматриваются в работе [8].

В 2017 году в США был разработан отчет «Curriculum Guidelines for Post-Secondary Degree Programs in Cybersecurity» [11], в котором рабочей группой из представителей разных стран были предложены перечни дисциплин, рекомендуемых для преподавания в области информационной безопасности.

В России достаточно давно действует своя система государственных стандартов в сфере образования [18], также имеются профессиональные стандарты, в которых сформулированы навыки и знания, которыми должны обладать специалисты в области информационной безопасности. Они устанавливают требования к оснащенности учебных заведений, определяют общие принципы организации обучения студентов в зависимости от специальности. При этом образовательные стандарты в России предоставляют университетам достаточно широкие возможности выбора учебных дисциплин.

Исследованию проблематики разработки учебных планов и профессиональных стандартов в области информационной безопасности в России посвящено значительное количество работ Е.Б. Белова, В.П. Лося, А.А. Хорева [1-3] и других ученых.

При рассмотрении работ, затрагивающих различные аспекты организации учебного процесса в сфере информационной безопасности, вопрос формирования последовательности преподавания дисциплин для учебных программ бакалавров и специалистов в области кибербезопасности практически не затрагивался. Не только совокупность изучаемых дисциплин, но и последовательность их рассмотрения во многом влияют на качество учебного плана. Данное обстоятельство обуславливают актуальность и основное направление данной работы. В процессе осуществления исследования требуется ответить на следующие проблемные вопросы:

1) Какова примерная совокупность дисциплин, необходимых для обучения студентов в области компьютерной безопасности?

2) Каков принцип формирования логических связей между изучаемыми дисциплинами?

3) Из каких логически связанных между собой дисциплин состоят отдельные блоки или разделы учебных планов?

4) Какова примерная последовательность изучения дисциплин?

Сформулированные проблемные вопросы обусловили цель работы, которая заключается в разработке моделей, описывающих последовательность изучения дисциплин в рамках учебного плана подготовки бакалавров и специалистов в области компьютерной безопасности. Для достижения поставленной цели работы прежде всего следует определить наиболее эффективные методы исследования предметной области.

Учебный план следует рассматривать как систему, состоящую из взаимосвязанных между собой отдельных элементов – дисциплин. Их корректное объединение в рамках учебного плана должно создать логичную и эффективную систему обучения студентов.

В качестве основных методов при проведении исследования будут использованы подходы, предусмотренные теорией системного анализа. Предметной областью в данном случае является учебный план, который будет декомпозирован на несколько подобластей.

Формирование подобластей плана обучения будет осуществляться на основе основных направлений в обеспечении защиты информации. В данном случае предполагается выполнить условное разделение на следующие направления: компьютерные, организационно-правовые и физические аспекты обеспечения информационной безопасности.

В качестве прикладного средства для анализа взаимодействия элементов учебного плана будет применена методология структурного графического моделирования IDEF3. Особенностью инструментария IDEF3 является наличие логических элементов, позволяющих в явном виде указать условия и последовательность выполнения событий в изучаемой модели. В качестве ограничений рассмотрения предметной области, следует указать, что в данном исследовании рассматриваются вопросы подготовки бакалавров, чьим основным направлением профессиональной деятельности будет обеспечение компьютерной безопасности и администрирование систем защиты информации.

Базовыми принципами, влияющими на состав и последовательность изучения дисциплин в разрабатываемых моделях, являются следующие:

- 1) Для обеспечения защиты информации при ее обработке с помощью средств вычислительной техники требуются знания принципов работы аппаратных устройств и соответствующего программного обеспечения;
- 2) Рассмотрение методов защиты информации следует выполнять только после изучения соответствующих способов ее обработки;
- 3) Для успешной работы требуется знания стандартов и правовых норм, регулирующих деятельность по защите информации;
- 4) Между дисциплинами А и В имеется взаимосвязь друг с другом, если полученные в результате изучения дисциплины А знания и навыки используются при рассмотрении учебных тем дисциплины В;
- 5) Необходимо рассмотрение вопросов обеспечения физической защиты объектов защищаемой информационной системы с помощью применения технических средств.

2. Построение графических моделей взаимосвязей учебных дисциплин

На рисунке 1 представлена IDEF3 модель, описывающая примерную последовательность изучения «компьютерных» дисциплин при подготовке бакалавров и специалистов в области кибербезопасности. Рассмотрим подробнее особенности модели. На рисунке 1 изображены названия дисциплин и связывающие их логические объекты – перекрестки типа «And». Они подразумевают обязательное завершение изучения всех предыдущих дисциплин перед началом рассмотрения последующих. Перекресток «And/Or», расположенный в правой части диаграммы говорит о том, что для изучения любой из последующих дисциплин (расположены в правом столбце) требуется рассмотрение всех предыдущих (расположены во втором столбце).

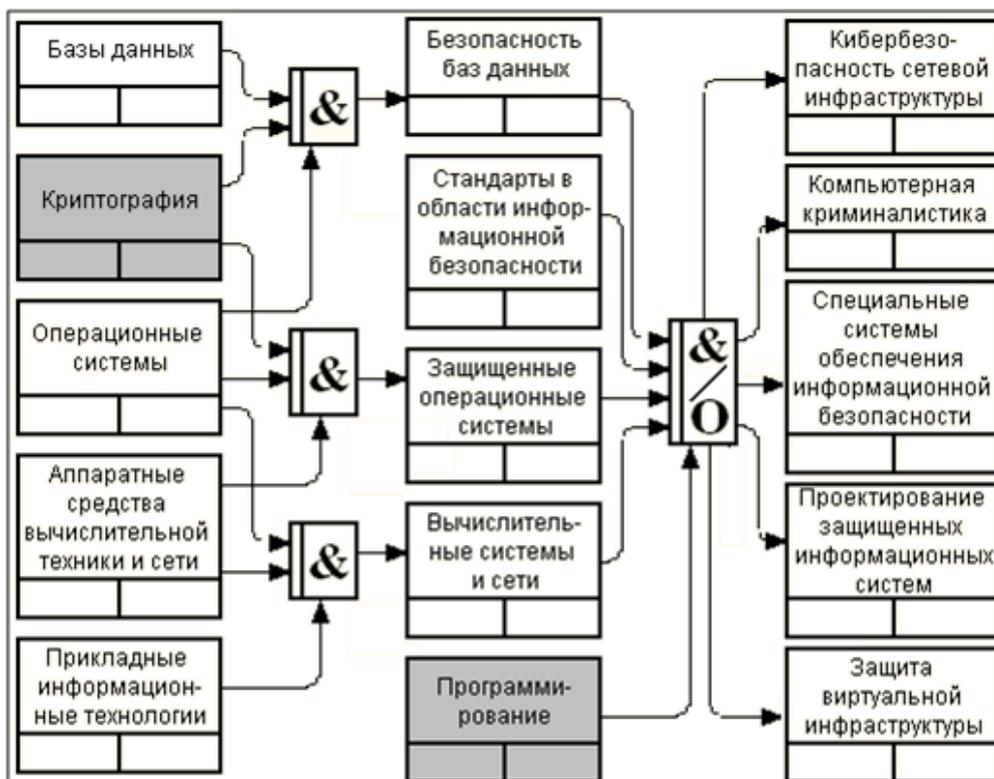


Рис. 1. IDEF3 Модель группы профессиональных дисциплин при обучении бакалавра в области компьютерной безопасности (составлено автором)

Fig. 1. IDEF3 Model of a group of professional disciplines in bachelor's degree studies in computer security (compiled by the author)

Процесс обучения компьютерным дисциплинам можно разделить на несколько этапов. Начальный этап обучения бакалавров в области информационной безопасности должен начинаться с изучения особенностей работы объектов защиты – баз данных, операционных систем, прикладного программного обеспечения, аппаратного обеспечения. На этом же этапе рассматриваются основы криптографии и программирования. Элементы криптографии будут в дальнейшем встречаться во многих дисциплинах, рассматривающих вопросы компьютерной безопасности.

Для рассмотрения вопросов обеспечения безопасности баз данных кроме языка SQL потребуются знание основ криптографии и операционных систем. Используемая операционная система влияет на особенности мер защиты СУБД и обрабатываемых ими баз данных. Также многие СУБД обладают встроенными средствами криптографической защиты хранящихся в них данных. Чтобы применять средства криптографии для защиты баз данных, надо понимать принцип работы криптоалгоритмов и их назначение.

При изучении особенностей защиты сетей потребуются знания в области аппаратных средств вычислительной техники, криптографии и операционных систем.

На третьем этапе подготовки студенты изучают достаточно сложные комплексные дисциплины, требующие предварительной подготовки.

Например, изучение кибербезопасности сетевой инфраструктуры невозможно без предварительного рассмотрения таких дисциплин, как архитектура сетей, операционные систем, безопасность баз данных, стандарты в области информационной безопасности, основы криптографии, аппаратные средства вычислительной техники.

Реализация большого объема высокотехнологичных учебных дисциплин потребует определенного объема финансовых средств. В качестве способа оптимизации финансовых расходов можно предложить использование технологии виртуализации. Применение виртуализации оправдано также тем, что эта технология используется в деятельности самых разных организаций.

Поэтому будущему выпускнику следует ознакомиться с ней, а затем и с особенностями защиты виртуальных объектов.

Относительно таких дисциплин, как Криптография и Программирование следует отметить, что объемы времени, выделяемые на их изучение, могут серьезно отличаться в программах разных учебных заведений. Достаточно часто они образуют отдельные группы взаимосвязанных дисциплин [18]. Для изучения криптографии могут быть предусмотрены дисциплины: основы криптографии, современные криптографические протоколы, криптографическая защита информации и т.п. Программирование может в себя включать курсы, где рассматриваются такие среды программирования, как C++, Python, Java и т.п.

Помимо технических дисциплин большое значение в образовательном процессе играют и гуманитарные. На необходимость изучения гуманитарных дисциплин указано как в работах отечественных ученых [2, 3], так и в зарубежных исследованиях [11].

Например, в документе [11] кибербезопасность определяется как междисциплинарный курс, основанный не только на преподавании технологий обработки и защиты информации, но и изучающий юридические и гуманитарные аспекты обеспечения защиты информации. Эта точка зрения логична по следующим причинам:

1) Преподавание студентам юридических и организационных аспектов мер защиты способно существенно повысить ценность учебной программы, поскольку позволит будущему специалисту системно рассматривать вопросы, связанные с компьютерной безопасностью;

2) В настоящее время большое количество атак начинается не с попыток преодоления существующей системы защиты, а с применения методов социальной инженерии. При этом первым объектом атаки становятся сотрудники организаций.

Точка зрения о необходимости включения гуманитарных дисциплин в учебный план находит свое подтверждение и в работах других авторов [1, 16].

Таким образом, в процессе обучения следует рассматривать психологические, этические, правовые, организационные аспекты обеспечения защиты информации. IDEF3 модель блока правовых и гуманитарных дисциплин показана на рисунке 2.

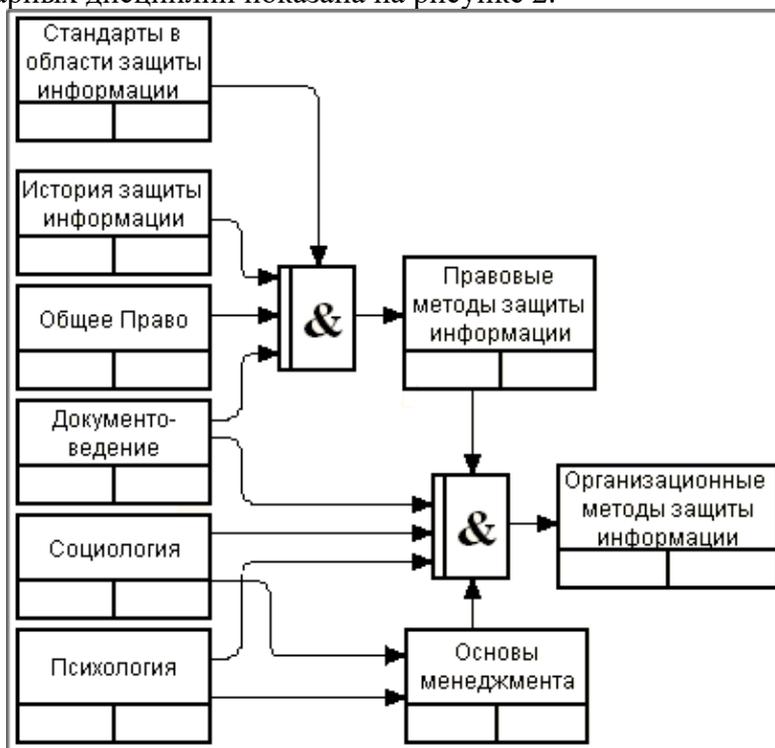


Рис. 2. IDEF3 Модель группы гуманитарных дисциплин при обучении бакалавров в области компьютерной безопасности

Fig. 2. IDEF3 Model of a group of humanities disciplines in Bachelor's degree programs in computer security

Базовую группу гуманитарных дисциплин составляют: социология, психология, документоведение, основы права, история защиты информации, стандарты в области защиты информации, основы менеджмента. Причем основы менеджмента желательно изучать после социологии и психологии. Эти предметы должны рассматриваться с учетом специфики дальнейшей подготовки студентов. Юридические методы, основанные на применении правовых норм в области информационных технологий, играют важную роль в обеспечении компьютерной безопасности. Безусловно, программа подготовки бакалавров в сфере кибербезопасности не должна ставить своей задачей изучение всех тонкостей юриспруденции. Однако нормы законодательства, связанные со своей будущей профессией, бакалавр по компьютерной безопасности знать обязан.

Еще одним важным предметом в данном случае являются методы организационной защиты информации. Эта дисциплина рассматривает меры повышения защиты компьютерных систем с помощью различного рода управленческих решений, норм и регламентов поведения сотрудников на рабочем месте. Изучение этого предмета предполагает предварительное рассмотрение правовых норм, поскольку все внутрифирменные регламенты и инструкции должны соответствовать действующему законодательству.

Методы организационной защиты информации позволяют достаточно эффективно бороться с нарушителями, использующими социальную инженерию. Перед рассмотрением методов организационной защиты следует изучить курсы психологии и социологии.

Рассмотрение технических, организационных и юридических аспектов обеспечения информационной безопасности должно учитывать требования стандартов в области защиты информации (Рисунки 1, 2). Изучение законов, национальных стандартов, ведомственных нормативных документов в сфере информационной безопасности необходимо по следующим причинам:

1) В ряде случаев следование положениям утвержденных стандартов и инструкций может быть необходимо. Их игнорирование может привести к увольнению или даже к судебной ответственности сотрудников, отвечающих за информационную безопасность;

2) В стандартах содержатся готовые подробные методики и инструкции выполнения различных мероприятий в области защиты информации.

Еще одним важным направлением, который следует рассмотреть в процессе обучения студентов, является применение средств обеспечения физической безопасности объектов информатизации: средств осуществления видеонаблюдения, охранной сигнализации, СКУД, систем обеспечения пожарной безопасности. Угрозы техногенных аварий (пожаров), физического уничтожения или хищения носителей актуальны для любой информационной системы. Рассмотрим IDEF3 модель группы дисциплин, обеспечивающих изучение данного аспекта защиты информации (рисунок. 3).

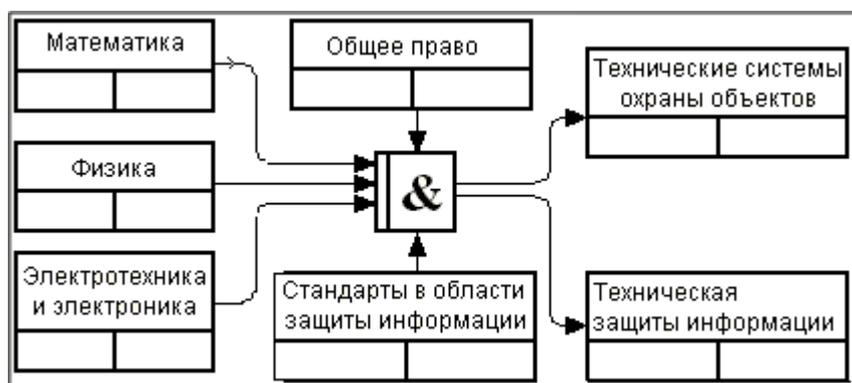


Рис. 3. IDEF3 Модель группы дисциплин при изучении

технических средств охраны объектов и технической защиты информации

Fig. 3. IDEF3 Model of a group of disciplines in the study of technical means of object protection and technical information protection

Для изучения систем технической охраны объектов потребуется предварительное изучение таких дисциплин, как математика и физика. Затем следует рассмотреть основы электротехники и электроники. При изучении вопросов внедрения и использования технических систем охраны следует учитывать как технические возможности, так и существующие правовые нормы их применения. Также в данном блоке дисциплин необходимо указать Техническую защиту информации. В рамках данной дисциплины рассматриваются теоретические и практические аспекты работы со специальными техническими средствами, обеспечивающими защиту информации от утечек по техническим каналам.

На завершающем этапе обучения следует предусмотреть дисциплины, где потребуется использовать знания, полученные ранее из разных блоков учебного плана. Например, разработать проект защищенной компьютерной системы (рисунок 4).

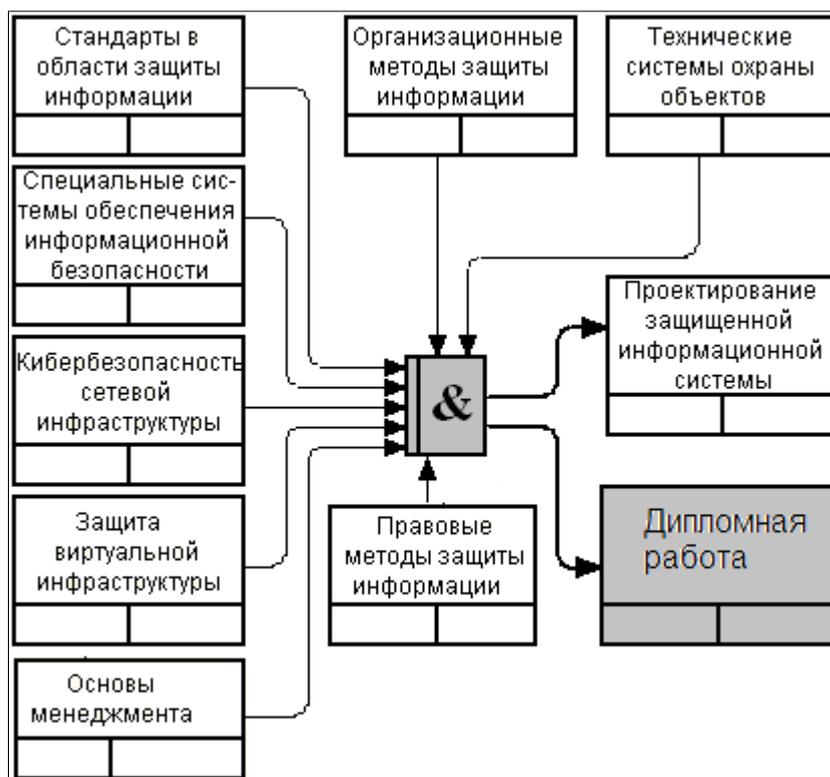


Рис. 4. IDEF3 Модель взаимосвязи базовых дисциплин программы подготовки бакалавров в области кибербезопасности

Fig. 4. IDEF3 Model of the interrelation of the basic disciplines of the Bachelor's degree program in cybersecurity

Дисциплина «Проектирование защищенной информационной системы» позволит объединить полученные ранее знания и навыки в единую взаимосвязанную систему. В рамках ее изучения при выполнении практических заданий студенты должны будут разработать комплекс мер по обеспечению кибербезопасности, применению средств охраны, использованию методов организационной и правовой защиты с учетом особенностей предложенной им для этого организации или ее подразделения.

Завершать курс обучения специалиста в области информационной безопасности должна дипломная (выпускная квалификационная) работа.

3. Выводы и заключение

Представленные в работе модели ориентированы на использование в программах бакалавриата и специалитета по информационной безопасности. При создании программ обучения следует придерживаться целостного, системного подхода, который ориентирован на изучение как технических, так и гуманитарных дисциплин из различных областей научных знаний [9, 15].

Составление учебного плана, основанного на применении только «компьютерных дисциплин», оправдано, если будущий студент уже имеет среднее специальное образование по информационной безопасности или информационным технологиям. В этом случае могут использоваться программы, рассчитанные на обучение в течение трех лет.

Перечень дисциплин, содержащихся в приведенных в этой статье графических моделях, не является шаблоном. Безусловно, названия дисциплин могут отличаться в зависимости от особенностей каждого отдельно взятого университета и направленности программы. Некоторые дисциплины могут быть добавлены в представленные модели. Однако общий принцип формирования последовательности рассмотрения учебного материала должен сохраниться. При построении учебных планов следует сначала рассмотреть общеобразовательные дисциплины, а затем на базе полученных знаний и навыков переходить к изучению специализированных предметов.

В результате проведенных исследований был разработан комплекс графических моделей с использованием нотации IDEF3, описывающих последовательность изучения дисциплин при подготовке бакалавров по информационной безопасности. Модели описывают основные подобласти учебного плана подготовки бакалавров и специалистов по информационной безопасности и рассматривают аспекты обеспечения компьютерной, организационно-правовой и физической безопасности информации. Также разработана модель, которая позволяет синтезировать знания, полученные студентами при изучении дисциплин из отдельных подобластей учебного плана.

Представленные в работе модели разработаны с учетом информационно-логических связей между учебными дисциплинами и содержат рекомендации по последовательности их изучения в рамках программ обучения студентов.

Таким образом заявленная цель исследования, по мнению авторов работы, была достигнута.

Применение графических моделей в процессе создания учебного плана предоставляет возможность оценки корректности установленного порядка изучения дисциплин. В этом заключается практическая ценность предлагаемого метода. Диаграммы, построенные на основе инструментария графического моделирования, наглядно демонстрируют этапы осуществления учебного процесса. Предложенный в статье подход возможно использовать при разработке учебных планов и для других направлений подготовки студентов.

Одним из возможных путей продолжения дальнейших исследований в данном направлении может быть разработка математического аппарата, решающего задачу рациональной расстановки дисциплин.

Список литературы

1. Белов Е.Б., Лось В.П., Зайцева О.М., Кузора И.В. О необходимости актуализации профессиональных стандартов в области информационной безопасности и информационных технологий/ Методы и технические средства обеспечения безопасности информации. – 2020. № 29. с. 119.
2. Белов Е.Б., Хорев А.А. Концептуальный подход к оценке уровней сформированности профессиональных компетенций в области информационной безопасности. Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2015. – Т. 2. – № 25. с. 53-62.
3. Белов Е.Б., Лось В.П., Малюк А.А. Цифровая экономика и актуальные проблемы совершенствования системы подготовки кадров в области информационной безопасности. Безопасность информационных технологий, 2018. Т. 25, №. 4. с. 6-22.
4. Asghar M.R., Luxton-Reilly A. Proceedings of the 51st ACM Technical Symposium on Computer Science Education: A Case Study of a Cybersecurity Program: Curriculum Design, Resource Management, and Reflections. Portland, USA. 2020.
5. Bishop M., Miloslavskaya N., Theocharidou M. Proceedings of the 10th World Conference on Information Security Education – WISE10: Information Security Education Across the Curriculum. Rome, Italy. 2015.
6. Cabaj K., Domingos D., Kotulski Z., Respício A. Cybersecurity education: evolution of the discipline and analysis of master programs. Computers & Security, 75(3), 24-35. 2018.
7. Chen H., Maynard S.B., Ahmad A. Proceedings of the 11th Australian Information Security Management

Conference: A comparison of information security curricula in China and the USA. Churchlands, Australia: Edith Cowan University. 2013.

8. Dawson M., Wang P., William K. Proceedings of the 15th International Conference on Information Technology «Information Technology – New Generations»: The Role of CAE-CDE in Cybersecurity Education for Workforce Development. 2018. Vol. 738. Springer.

9. Endicott-Popovsky B.E. Popovsky V.M. Application of pedagogical fundamentals for the holistic development of cybersecurity professionals. ACM Inroads, 2014. Vol. 5, № 1, pp. 57-68.

10. Henry A.P. Mastering the cyber security skills crisis: realigning educational outcomes to industry requirements. Technical Report. ACCS Discussion paper. 2017. Retrieved from <https://www.unsw.adfa.edu.au/unsw-canberra-cyber/sites/accs/files/uploads/ACCS-Discussion-Paper-4-Web.pdf>

11. Joint Task Force on Cybersecurity Education. Cybersecurity Curricula 2017: Curriculum Guidelines for Post-Secondary Degree Programs in Cybersecurity. 2018. New York, NY, U.S: Association for Computing Machinery.

12. Kessler G.C., Ramsay J. Paradigms for cybersecurity education in a homeland security program. Journal of Homeland Security Education, 2013. 2, pp. 35-44.

13. Lehto M. Proceedings of the 14th European Conference on Information Warfare and Security: Cyber security competencies – cyber security education and research in Finnish universities. Hatfield, United Kingdom. 2015.

14. Mouheb D., Abbas S., Merabti M. Cybersecurity Curriculum Design: A Survey. Pan Z., Cheok A.D., Mueller W., Transactions on Edutainment XV. Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Germany: Springer. 2019. vol 11345. pp. 93-107.

15. Tsado L., Cybersecurity Education: The need for a topdriven, multidisciplinary, school-wide approach. Journal of Cybersecurity Education, Research and Practice, 2019. Vol. 2019. № 1, pp. 37-56.

16. Ward P. Proceedings of the 54th Hawaii International Conference on System Sciences: Constructing a Methodology for Developing a Cybersecurity Program. 2021. pp. 44-53.

17. Yuan X., Yang L., Jones B., Yu H., Chu B. Secure Software Engineering Education: Knowledge Area, Curriculum and Resources. Journal of Cybersecurity Education, Research and Practice, Vol. 2016. No 1, 31-54.

18. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 10.03.01 «Информационная безопасность». URL: <https://fgosvo.ru/fgosvo/151/150/24/10>

References

1. Belov E.B., Los V.P., Zaitseva O.M., Kuzora I.V. On the need to update professional standards in the field of information security and information technology / Methods and technical means of ensuring information security. – 2020. No 29. pp. 119-120.

2. Belov E.B., Horev A.A. A conceptual approach to assessing the levels of formation of professional competencies in the field of information security. Information counteraction to terrorist threats. – 2015. – Т. 2. – No 25. pp. 53-62.

3. Belov E.B., Los V.P., Malyuk A.A. The digital economy and actual problems of the improvement of the training system in the field of information security. IT Security (Russia), [S.l.], v. 25, pp. 6-22.

4. Asghar M.R., Luxton-Reilly A. Proceedings of the 51st ACM Technical Symposium on Computer Science Education: A Case Study of a Cybersecurity Program: Curriculum Design, Resource Management, and Reflections. Portland, USA. 2020.

5. Bishop M., Miloslavskaya N., Theocharidou M. Proceedings of the 10th World Conference on Information Security Education – WISE10: Information Security Education Across the Curriculum. Rome, Italy. 2015.

6. Cabaj K., Domingos D., Kotulski Z., Respício A. Cybersecurity education: evolution of the discipline and analysis of master programs. Computers & Security, 75(3), 24-35. 2018.

7. Chen H., Maynard S.B., Ahmad A. Proceedings of the 11th Australian Information Security Management Conference: A comparison of information security curricula in China and the USA. Churchlands, Australia: Edith Cowan University. 2013.

8. Dawson M., Wang P., William K. Proceedings of the 15th International Conference on Information Technology «Information Technology – New Generations»: The Role of CAE-CDE in Cybersecurity Education for Workforce Development. 2018. Vol. 738. Springer.

9. Endicott-Popovsky B.E. Popovsky V.M. Application of pedagogical fundamentals for the holistic

development of cybersecurity professionals. ACM Inroads, 2014. Vol. 5, № 1, pp. 57-68.

10. Henry A.P. Mastering the cyber security skills crisis: realigning educational outcomes to industry requirements. Technical Report. ACCS Discussion paper. 2017. Retrieved from <https://www.unsw.adfa.edu.au/unsw-canberra-cyber/sites/accs/files/uploads/ACCS-Discussion-Paper-4-Web.pdf>

11. Joint Task Force on Cybersecurity Education. Cybersecurity Curricula 2017: Curriculum Guidelines for Post-Secondary Degree Programs in Cybersecurity. 2018. New York, NY, U.S: Association for Computing Machinery.

12. Kessler G.C., Ramsay J. Paradigms for cybersecurity education in a homeland security program. Journal of Homeland Security Education, 2013. 2, pp. 35-44.

13. Lehto M. Proceedings of the 14th European Conference on Information Warfare and Security: Cyber security competencies – cyber security education and research in Finnish universities. Hatfield, United Kingdom. 2015.

14. Mouheb D., Abbas S., Merabti M. Cybersecurity Curriculum Design: A Survey. Pan Z., Cheok A.D., Mueller W., Transactions on Edutainment XV. Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Germany: Springer. 2019. vol 11345. pp. 93-107.

15. Tsado L., Cybersecurity Education: The need for a topdriven, multidisciplinary, school-wide approach. Journal of Cybersecurity Education, Research and Practice, 2019. Vol. 2019. № 1, pp. 37-56.

16. Ward P. Proceedings of the 54th Hawaii International Conference on System Sciences: Constructing a Methodology for Developing a Cybersecurity Program. 2021. pp.44-53.

17. Yuan X., Yang L., Jones B., Yu H., Chu B. Secure Software Engineering Education: Knowledge Area, Curriculum and Resources. Journal of Cybersecurity Education, Research and Practice, Vol. 2016. No 1, 31-54.

18. Federal State educational standard of higher education – bachelor's degree in the field of training 10.03.01 "Information security". URL: <https://fgosvo.ru/fgosvo/151/150/24/10>

Прокушев Ярослав Евгеньевич, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры прикладной информатики и информационной безопасности, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, г. Москва, Россия

Заливин Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Пonomarenko Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры информационной безопасности, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

Пonomarenko Сергей Анатольевич, доцент кафедры информационной безопасности, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

Prokushev Yaroslav Evgenievich, Candidate of Economics Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Security, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

Zalivin Alexander Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Ponomarenko Sergey Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Information Security, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

Ponomarenko Sergey Anatolyevich, Associate Professor of the Department of Information Security, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

УДК 004.05

DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-5

**Головинский С.А.
Маслова М.А.
Лагуткина Т.В.****ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХЕШ-ТАБЛИЦ В МЕХАНИЗМЕ ЗАЩИТЫ
ОТ DOS-АТАК НА ПРИМЕРЕ ЯЗЫКА PYTHON**Севастопольский государственный университет,
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия*e-mail: tositrent164@gmail.com, mashechka-81@mail.ru, t.v.lagutkina@mail.sevsu.ru***Аннотация**

В данной статье рассматривается актуальная проблема безопасности хеш-таблиц при DoS-атаках, вызванных преднамеренными коллизиями. Хеш-коллизии могут использоваться злоумышленниками для значительного замедления работы системы, так как при этом увеличивается время поиска и вставки данных в хеш-таблицах. Основное внимание уделено механизмам защиты, применяемым в Python, где для предотвращения подобных атак используется рандомизированная соль в хеш-функциях. В работе детально анализируется принцип работы хеш-таблиц, природа возникновения коллизий и особенности реализации рандомизированного хеширования. Объясняются основные концепции и приводятся практические примеры на Python. Исследуются различные методы атак через коллизии и способы их предотвращения. Заключительная часть статьи содержит конкретные рекомендации по безопасному использованию хеш-таблиц и повышению общей безопасности информационных систем. Рассматриваются как технические аспекты реализации защитных механизмов, так и организационные меры по защите от DoS-атак. Статья будет полезна разработчикам программного обеспечения, специалистам по информационной безопасности и исследователям в области компьютерных наук.

Ключевые слова: информационная безопасность; безопасность; хеш-таблица; DoS-атака; коллизия; рандомизация хеша; Python; защита от DoS; хеш-функция

Для цитирования: Головинский С.А., Маслова М.А., Лагуткина Т.В. Использование хеш-таблиц в механизме защиты от DoS-атак на примере языка Python // Научный результат. Информационные технологии. – Т. 10, №2, 2025. – С. 49-56. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-5

**Golovinskiy S.A.
Maslova M.A.
Lagutkina T.V.****USAGE OF HASH TABLES IN THE MECHANISM
OF PROTECTION AGAINST DOS ATTACKS USING
THE PYTHON LANGUAGE**Sevastopol State University,
33 Universitetskaya St., Sevastopol, 299053, Russia*e-mail: tositrent164@gmail.com, mashechka-81@mail.ru, t.v.lagutkina@mail.sevsu.ru***Abstract**

This article addresses the current problem of hash table security in the context of DoS attacks caused by deliberate collisions. Hash collisions can be exploited by attackers to significantly slow down system performance, as this increases the time for searching and inserting data in hash tables. The main focus is on protective mechanisms implemented in Python, where randomized salts are used in hash functions to prevent such attacks. The paper provides a detailed analysis of how hash tables work, the nature of collision occurrences, and the features of implementing randomized hashing. Key concepts are explained, and practical examples in Python are provided. Various collision attack methods and their prevention strategies are explored. The concluding part of the article contains specific recommendations for the secure use of hash tables and enhancing the overall security of information systems. Both the technical aspects of implementing protective mechanisms and the organizational measures for protection against DoS attacks are considered.

The article will be useful for software developers, information security specialists, and researchers in the field of computer science.

Keywords: information security; security; hash table; Ddos attack; collision; hash randomization; Python; DoS protection; hash function

For citation: Golovinskiy S.A., Maslova M.A., Lagutkina T.V. Usage of hash tables in the mechanism of protection against dos attacks using the Python language // Research result. Information technologies. – Т. 10, №2, 2025. – P. 49-56. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-5

ВВЕДЕНИЕ

Поддержание связи в Интернете основано на передаче данных. К сожалению, это также означает, что большой объем информации широко доступен для трансфертов между устройствами и серверами, и, следовательно, подвержен возможности атак. На данном этапе защита информации является критически необходимой из-за ряда видов атак, конфиденциальности пользователей и предотвращения доступа для лиц, не имеющих на это права.

Для обеспечения безопасности передачи каких-либо данных существуют различные методы, которые помогают защищать информацию от несанкционированного доступа, возможных утечек, краж и подделки. К основным из них относятся:

- шифрование, является одним из самых эффективных способов защиты данных при передаче по сети, хранения на устройствах [1];

- межсетевые экраны или так называемые фаерволы, они служат фильтром для исходящего и входящего трафика, при этом блокируют запрещенные и подозрительные соединения с предотвращением несанкционированного доступа к сети;

- DLP или система предотвращения утечек. Она анализирует потоки информации и блокирует передачу какой-либо конфиденциальной информации и данных за ее пределы;

- электронная подпись и цифровые сертификаты. Их используют для узнаваемости участников обмена и предотвращения использования чужих данных;

- протоколы безопасности. Их используют для шифрования веб-трафика между серверами и браузерами (например ННТТРС), создание шифровального канала между точками обмена, при этом защищая данные даже в общественных местах – VPN, создание защищенного соединения между сервером и клиентом (SSL/TLS);

- многофакторная аутентификация. С помощью нее формируется добавление дополнительных уровней проверки пользователей, что положительно влияет на уменьшение риска взлома аккаунтов пользователей. Проводится с помощью биометрии или SMS-кода на телефон пользователя;

- хеширование позволяет проверять исходность начальных данных, не были ли эти данные изменены и позволяет защитить от кражи с помощью преобразования данных в уникальный хеш-код, который невозможно восстановить в исходный вид. Данный метод является одним из основных в обеспечении безопасности передачи данных. С помощью него хранят пароли и методы контроля на целостность информации.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Атака отказа в обслуживании или DOS-атака является одной из тех, с помощью которой можно обойти шифрование несмотря на разновидность шифров, защищенности алгоритмов хеширования. Злоумышленниками используются слабые места системы и создаются искусственные коллизии и более замедленная работа хеш-таблиц, что влияет на возможность создания угроз для безопасности данных и производительности серверов. Т.е. с помощью данной атаки происходит большая нагрузка, которая не дает возможность обработать запросы от пользователей [2, 3].

Почему же так часто используют DOS-атаки? Они являются доступными в финансовой составляющей, поэтому их часто используют после проведения конкурентной разведки для

ликвидации конкурентов и других незаконных действий. Для понимания работы данной атаки необходимо понимать работу ее структуры данных. Есть хеш-таблица, которая является структурой данных. В ней хранятся элементы в виде пары ключ – значение. Где ключ – это неповторяющееся число, используемое для индексации значений. В свою очередь значение – это данные, связанные с данным ключом [4]. Хэш таблица основана на бакетах, а точнее динамических массивах – структуры данных, под которые каждый язык программирования выделяет свой участок памяти, также при добавлении элементов в данный массив происходит увеличение затрат по памяти. На рисунке 1 представлена концептуальная схема работы хэш-таблицы.

Концептуальная сложность алгоритма добавления элемента в таблицу равняется « $O(1)$ » [5]. Данную нотацию « $O(1)$ » можно прочесть как сложность порядка 1, или алгоритм выполняется за постоянное/константное время. Поиск элемента в хэш-таблице по ключу в лучшем случае выполняется за « $O(1)$ ». Данные операции так эффективны благодаря алгоритмам хэширования. Когда необходимо добавить новое значение - сначала вычисляется хэш-функция от ключа. Ключ с помощью хеш-функции преобразуется в числовое значение, проводит математические вычисления в виде вычисления результата остатка от деления хеш-значения на его длину динамического массива, получая результат в виде индекса, в который и вставляются значения. Далее переходим ко второму динамическому массиву. В него помещается значение с вычисленного индекса. Размер динамического массива можно менять, если необходимо хранить множество значений по данному ключу. При этом могут возникнуть коллизии:

- индексные коллизии – это ситуации, когда при разных ключах они дают одинаковый хеш-индекс из-за того, что количество возможных ключей больше, чем размер самой таблицы. Для устранения данного недостатка используется открытая адресация или цепочка. Это дает возможность устранить коллизии, но при этом увеличивается сложность выполняемых операций до самой плохой $O(n)$, где n – это количество элементов в ячейке.

- коллизии значений – когда в одну ячейку таблицы (с одним индексом) помещаются несколько значений, принадлежащих разным ключам. Для хранения нескольких значений по одному индексу используются структуры данных, такие как списки или деревья.

Хэш-таблицы является распространенным инструментом для выполнения DoS атак на разные сервисы обработки данных. Одним из методов организации атаки является целенаправленное заполнение хеш-таблицы данными, которые вызывают множественные коллизии, то есть распределяются в один слот. В результате снижается производительность хеш-таблицы: время поиска элемента возрастает до $O(n)$, а вставка нового элемента с коллизией требует времени $O(n^2)$. Потребление памяти также увеличивается из-за так называемого «заливания хешей» (hash-flooding). Для проведения такой атаки злоумышленник должен иметь возможность добавлять произвольные данные в хеш-таблицу и находить коллизии хеш-функции [6-8].

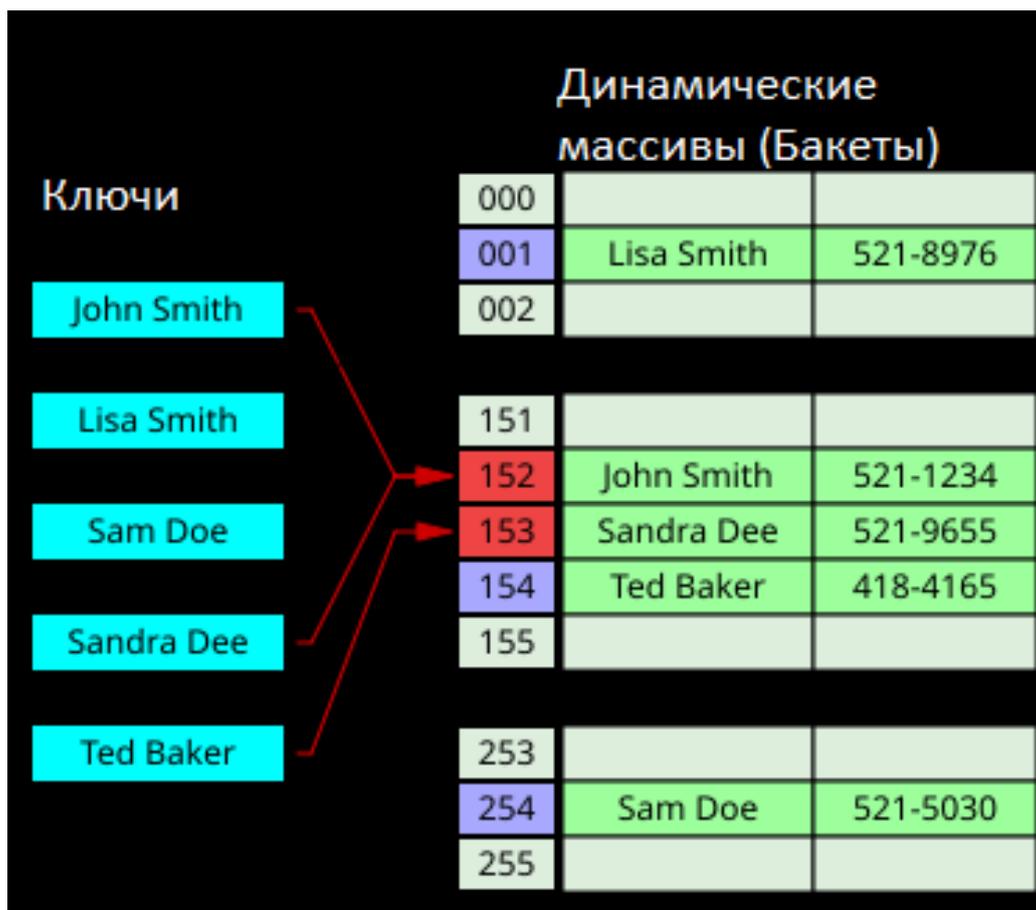


Рис. 1. Схема работы хэш-таблицы
Fig. 1. Hash table operation diagram

Данную атаку называют hash DoS – атака или атака на алгоритмическую сложность (algorithmic complexity attack). А разных источниках отслеживается мнение по поводу данной атаки на предмет того, что она не является атакой, которую должна выполнять хеш-функция. Для этого можно использовать различные методы, такие как структуры данных с меньшей сложностью. Не так действенно, но имеет место быть. Приведем пример. Имеется сбалансированное дерево – AVL-дерево или красно-чёрное дерево – гарантирует в любом случае $O(\log n)$. В данном случае важной необходимостью есть учет новых атак, например, каскадный ребаланс дерева с специально сформированными данными, но даже в этом случае получится лучше результат – $O(n \log n)$,

Рассмотрим некоторые существующие способы создания коллизий:

- метод полного перебора, когда известна хеш-функция и ее длина (небольшая). Сюда так же включается подход meet-in-the-middle, для возможности вычислять подходящие коллизии;
- нахождение математическим путем, когда хеш-функция не устойчива к коллизиям.

Некриптографические хеш-функции в принципе относительно просты, и для нахождения коллизий бывает достаточно обратить алгоритм, выполнив его в обратном порядке. На рисунке 2 представлена топологическая схема Dos-атаки с заранее подготовленной структуры данных с коллизиями.

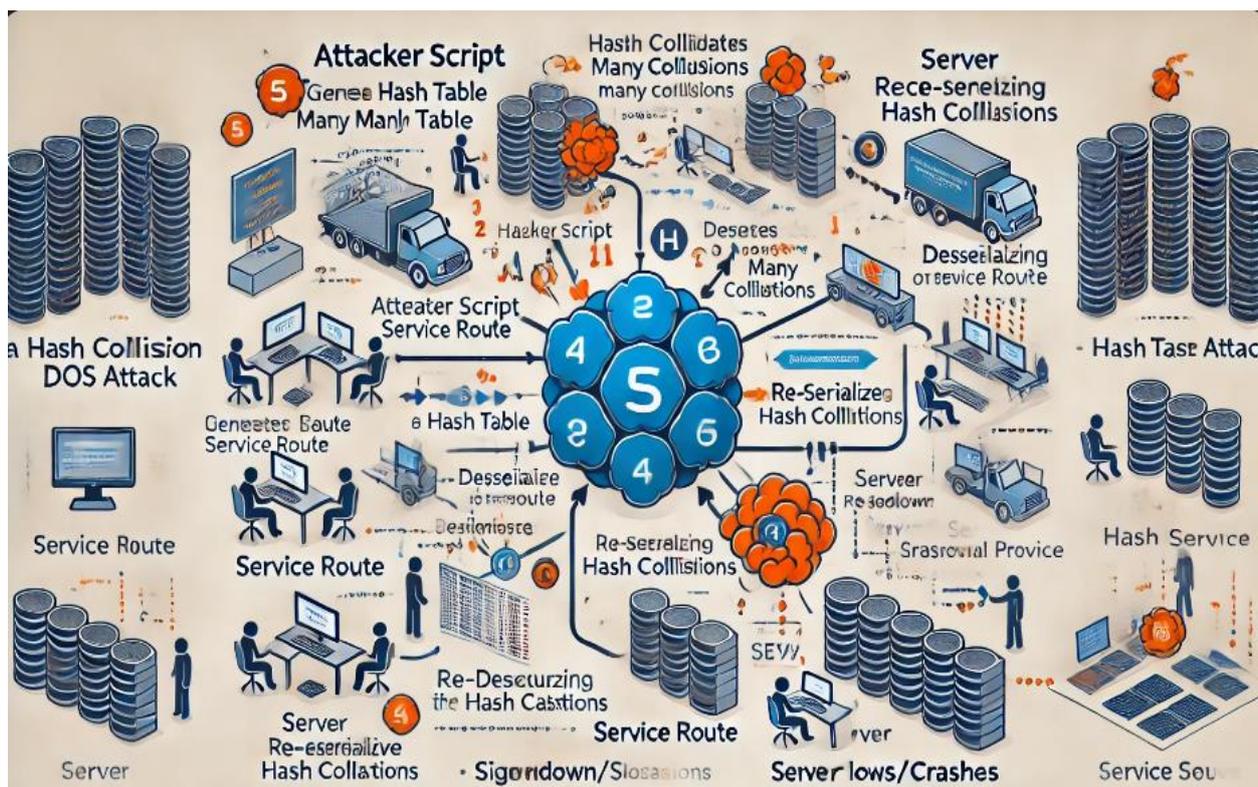
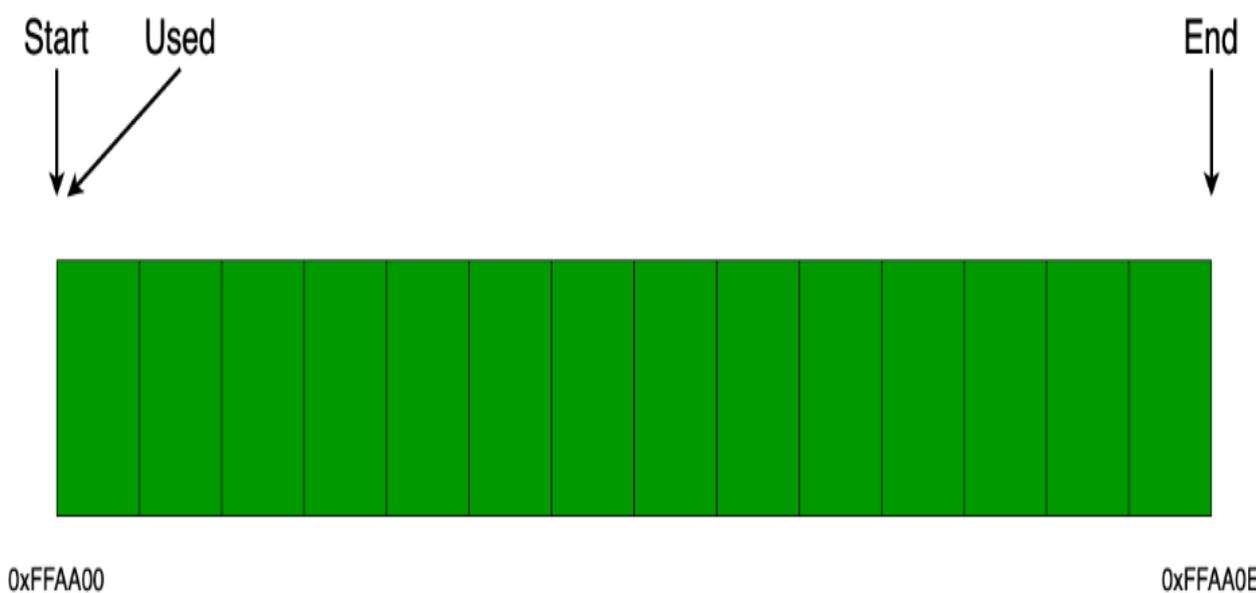


Рис. 2. Схема Dos атаки от злоумышленника до сервиса
Fig. 2. Dos attack diagram from the attacker to the service

Злоумышленник умышленно запускает скрипт, при помощи которого создаются структуры данных с коллизиями. Результат скрипта отправляется по открытому маршруту на сервис, обрабатывающий данные. Сервис сериализует поврежденные данные, вследствие чего происходит засорение памяти на сервере. Аллокатор памяти не справляется с той нагрузкой, которая пришла ему на вход, в результате чего сервер тормозит. В результате происходит ошибка переполнение стека – stack overflow, концептуально возможно также переполнение в куче – структуре данных, которой управляет аллокатор памяти [9-11]. Для добавления объектов в кучу с помощью аллокатора памяти с адресами представлена на рисунке 3.

В языке программирования Python существует встроенный механизм, предназначенный для защиты от коллизий в структурах данных. Данный язык программирования использует механизм так называемый – рандомизация хешей. Он добавляет случайную соль (salt) к хеш-функциям для строковых ключей [12]. При использовании данной рандомной salt, обеспечивающая различное поведение для каждой сессии, а также дающая возможность предотвращать предсказуемое создание коллизий. Когда происходит запуск интерпретатора языка Python, то для каждой новой сессии происходит генерация случайной соли. Она в свою очередь добавляется к хеш-значению строк [13]. Это дает возможность создавать предсказуемые коллизии за счет соли. Так как строки, которые до этого могли вызывать коллизии в хеш-таблице, теперь могут получать различные хеш-значения при каждом запуске Python. Данный механизм является встроенным в стандартные хеш-таблицы Python, которые так же включают и словари, и множества. Поэтому пользователю не приходится включать его отдельно. Когда злоумышленник пытается в Python использовать словари или множества, он не может просто создать данные, которые приведут к одинаковым хеш-значения из-за того, что salt меняется при каждом новом запуске. Следовательно это делает язык программирования Python устойчивым к DOS – атакам с использованием преднамеренных коллизий.



*Рис. 3. Незагруженный аллокатор памяти
Fig.3. Unloaded memory allocator*

Данные алгоритмические DOS – атаки основываются на идее специального создания коллизий в хеш-таблицах. Как уже упоминалось, с помощью них можно замедлить обработку данных и увеличить потребление на сервере ресурсов, что приведет к увеличению времени выполнения всех операций и, следовательно, значительному увеличению нагрузки на память. Такой способ использования рандомизации для защиты от атак на хеш-таблицы используется так же и другими языками программирования и фреймворками. Например, это Java и Ruby. Особенно они используются в их веб – приложениях для того, чтобы справиться с атаками на алгоритмическую сложность.

Например, в языке Java хеш-коллизии решаются через хеш-таблицы и бинарные деревья для хранения конфликтующих значений. Python, в свою очередь, использует рандомизацию для предотвращения создания предсказуемых коллизий. Защита с использованием соли работает эффективно в локальных приложениях и на серверной стороне, где данные ограничены одной сессией или перезапуском сервера. Тем не менее, в распределенных системах, где рандомизация может быть зафиксирована для унитарности, такой подход может быть нерентабельным, что делает рискованным анализ атак на коллизии в зависимости от типа архитектуры системы. Кроме того, для обеспечения максимальной безопасности необходимо применять ограничение размера хеш-таблиц, защиту от перегрузки по числу элементов и другие способы мониторинга и управления запросами на стороне веб-сервера или приложения. Система станет значительно более защищенной при использовании библиотек и фреймворков, учитывающих безопасность хеширования и способные обеспечивать защиту от алгоритмических атак [14, 15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении к вышеперечисленному, были рассмотрены принципы безопасности алгоритмов хеширования для защиты от DoS атак. В современных условиях увеличивающегося числа кибератак на реализующие алгоритмическую сложность уязвимости целевые системы становится важным понимание значимости защиты хеш-таблиц, отчасти являющихся неотъемлемой частью практически всех современных языков программирования и целевых платформ. Хеш-таблицы необходимы для создания структур, обеспечивающих быстрый доступ к определенным данным, но предсказуемость хеш-функций делает их уязвимыми к ряду attack pattern, таких как hash flooding, замедляющей обработку и приводящих к DoS. По этой причине

использовалась случайная соль для защиты в языке программирования Python. Она не требует дополнительных действий со стороны пользователя для включения, а добавляет автоматическое внедрение случайной величины, изменяющей результат хеширования при каждом перезапуске интерпретатора. Для того что бы сделать систему более устойчивой к DOS – атакам и менее предсказуемой для хакеров и злоумышленников, необходимо использовать рандомизацию уровней хешей. Они усложняют манипулирование параметрами хеша для создания известных криптографических коллизий. Очень хорошо использовать автоматически для хеш функций случайную соль. Так как дает безопасность по умолчанию, защиту для стандартных библиотек Python от множества классов атак, при этом не требует дополнительных конфигураций или внешних библиотек.

Таким образом с помощью данного механизма получается комплексная локальная проверка, средство обхода для Python – приложений. Дает возможность повысить безопасность для самых популярных программных структур, используемых в разных странах мира. С помощью рандомизации хешей в Python, которая является важнейшим элементом для защиты данных дает возможность хорошей, надежной и простой защиты созданной командой разработчиков Python. В целом, эта технология является страстным примером того, как автоматизация и стандартизация защиты могут бороться с угрозами на самом высоком уровне.

Список литературы

1. Кузьминых, Е.С. Анализ непробиваемых алгоритмов шифрования / Е.С. Кузьминых, С.П. Ильина, М.А. Маслова // Научный результат. Информационные технологии. – 2024. – Т. 9, № 1. – С. 10-18. DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-1-0-2
2. DoS-атака [Электронный ресурс]. URL: <https://stormwall.pro/rsources/terms/attacks/dos>
3. Надейкина, В.С. Анализ систем обнаружения и предотвращения вторжения с открытым кодом для интеграции с отечественными операционными системами / В.С. Надейкина, М.А. Маслова // Научный результат. Информационные технологии. – 2024. – Т. 9, № 2. – С. 41-48. DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-2-0-5
4. Хэш таблицы [Электронный ресурс]. URL: <https://codechick.io/tutorials/dsa/dsa-hash-table>
5. Описание сложности алгоритмов [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/444594>
6. Некриптографические хеш-функции и DoS атака на них [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/178955>
7. Коллизионная атака [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%B0
8. Модель памяти в языках программирования [Электронный ресурс]. URL: <https://tproger.ru/articles/memory-model>
9. Работа памяти в Python [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/721804/>
10. Переполнение Стэка [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%B0
11. Стэк и куча – в чем разница [Электронный ресурс]. URL: <https://wiki.merionet.ru/articles/stek-i-kuca-v-chem-raznica>
12. Солим пароли [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/145648/>
13. Язык программирования Python. Часть 2. Компиляторы и Интерпретаторы [Электронный ресурс]. URL: <https://verity.by/news/yazyk-programmirovaniya-python-chast-2-kompilyatory-i-interpretatory/>
14. Детерминанты развития экономики России в условиях цифровой трансформации и обеспечения технологического суверенитета / Е.Н. Макаренко, И.А. Полякова, И.А. Кислая [и др.]. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный экономический университет "РИНХ", 2023. – 546 с.
15. Маслова, М.А. Проблемы облачных сервисов и методы защиты от рисков и угроз / М.А. Маслова, Е.С. Кузьминых // Научный результат. Информационные технологии. – 2022. – Т. 7, № 3. – С. 14-22. – DOI 10.18413/2518-1092-2022-7-3-0-2.

References

1. Kuzminykh, E.S. Analysis of impenetrable encryption algorithms / E.S. Kuzminykh, S.P. Ilina, M.A. Maslova // Research result. Information technologies. – Т. 9, №1, 2024. – P. 10-18. DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-1-0-2
2. Dos-Attack [Electronic resource]. URL: <https://stormwall.pro/rsources/terms/attacks/dos>
3. Nadejkina, V. S. Analysis of open-source intrusion detection and prevention systems for integration with russian operating systems / V. S. Nadejkina, M. A. Maslova // Research result. Information technologies. – Т.9, №2, 2024. – P. 41-48. DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-2-0-5
4. Hash maps [Electronic resource]. URL: <https://codechick.io/tutorials/dsa/dsa-hash-table>
5. Description of the complexity of the algorithms [Electronic resource]. URL: <https://habr.com/ru/articles/444594>
6. Non-cryptographic hash functions and DoS attack on them [Electronic resource]. URL: <https://protect.htmlweb.ru/des.htm>
7. Collision attack [Electronic resource]. URL: <https://habr.com/ru/articles/178955>
8. Memory model in programming languages [Electronic resource]. URL: <https://tproger.ru/articles/memory-model>
9. Memory operation in Python [Electronic resource]. URL: <https://habr.com/ru/articles/721804/>
10. Stack overflow [Electronic resource]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%B0
11. What's the difference between stack and heap [Electronic resource]. URL: <https://wiki.merionet.ru/articles/stek-i-kuca-v-cem-raznica>
12. Password salts (Advanced Encryption Standard) works [Electronic resource]. URL: <https://habr.com/ru/articles/145648/>
13. Python programming language. Part 2. Compilers and Interpreters [Electronic resource]. URL: <https://verity.by/news/yazyk-programmirovaniya-python-chast-2-kompilyatory-i-interpretatory/>
14. Determinants of the development of the Russian economy in the conditions of digital transformation and ensuring technological sovereignty / E.N. Makarenko, I.A. Polyakova, I.A. Kislaya [and others]. – Rostov-on-Don: Rostov State Economic University “RINH”, 2023. – 546 p. – ISBN 978-5-7972-3086-1. – EDN SHIVS.
15. Maslova, M.A. Problems of cloud services and methods of protection against risks and threats / M.A. Maslova, E.S. Kuz'minyh // Research result. Information technologies. – Т.7, №3, 2022. – P. 14-22. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-3-0-2

Головинский Семён Антонович, студент первого курса магистратуры кафедры «Информационная безопасность», Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

Маслова Мария Александровна, доцент кафедры «Информационная безопасность», Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

Лагуткина Татьяна Владимировна, старший преподаватель кафедры «Информационная безопасность», Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

Golovinsky Semyon Antonovich, first-year Master's Student of the Department of Information Security, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Maslova Maria Aleksandrovna, Associate Professor of the Department of Information Security, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Lagutkina Tatiana Vladimirovna, Senior Lecturer of the Department of Information Security, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

УДК 004.4

DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-6

Абрамова О.Ф.

**ПРИМЕНЕНИЕ ВЕБ-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ДОРОЖНЫХ
КАРТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПРИ ПОСТРОЕНИИ
ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ**

Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», ул. Энгельса, 42а, г. Волжский, Волгоградская область, 404121, Россия

e-mail: oxabra@yandex.ru

Аннотация

В статье обсуждается актуальная проблема избыточности информации в современном мире, особенно в контексте планирования образовательной траектории для достижения профессиональных целей. Авторы анализируют проблемы, с которыми сталкиваются как школьники, так и взрослые, при выборе профессии или обучении новой специальности, возникающие из-за недостатка структурированности и достоверности информации. Они обращают внимание на проблемы организации поиска информации, недостаточное критическое мышление при её анализе, а также на сложность построения стратегии обучения из-за избытка доступных данных.

Авторы предлагают решение в виде использования дорожных карт для визуализации образовательной траектории, подчеркивая важность структурирования информации, наличия обратной связи и возможности мониторинга прогресса при построении плана обучения. Статья также содержит сравнительный анализ по выделенным критериям программных аналогов для построения образовательных дорожных карт.

В заключении авторы приходят к выводу о необходимости разработки программно-информационной системы для построения образовательных и профориентационных дорожных карт, которая поможет упростить процесс принятия решений при выборе профессии или обучении новой специальности. Анализ требований к разрабатываемой системе позволяет подчеркнуть важность разностороннего подхода к оценке качества контента, обеспечения удобного интерфейса и возможности обратной связи для пользователей такой системы.

Ключевые слова: образовательная траектория; стратегия обучения; дорожная карта; программные инструменты; цифровизация образования; профориентационная деятельность
Для цитирования: Абрамова О.Ф. Применение веб-ориентированных дорожных карт для решения проблем при построении индивидуальной образовательной траектории // Научный результат. Информационные технологии. – Т. 10, №2, 2025. – С. 57-68. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-6

Abramova O.F.

**THE USE OF WEB-BASED ROADMAPS TO SOLVE PROBLEMS
IN BUILDING AN INDIVIDUAL EDUCATIONAL TRAJECTORY**

Volzhsky Polytechnic Institute (branch) Volgograd State Technical University, 42a Engels str.,
Volzhsky, Volgograd region, 404121, Russia

e-mail: oxabra@yandex.ru

Abstract

The article discusses the actual problem of information redundancy in the modern world, especially in the context of planning an educational trajectory to achieve professional goals. The authors analyze the problems faced by both schoolchildren and adults when choosing a profession or learning a new specialty, arising from a lack of structuring and reliability of information. They pay attention to the problems of organizing information search, insufficient critical thinking in its

analysis, as well as the difficulty of building a learning strategy due to the abundance of available data.

The authors propose a solution in the form of using roadmaps to visualize the educational trajectory, emphasizing the importance of structuring information, feedback and the ability to monitor progress in building a learning plan. The article also contains a comparative analysis according to the selected criteria of software analogues for building educational roadmaps.

In conclusion, the authors conclude that it is necessary to develop a software and information system for building educational and career guidance roadmaps, which will help simplify the decision-making process when choosing a profession or learning a new specialty. The analysis of the requirements for the system under development makes it possible to emphasize the importance of a versatile approach to assessing the quality of content, providing a user-friendly interface and feedback opportunities for users of such a system.

Keywords: educational trajectory; learning strategy; roadmap; software tools; digitalization of education; career guidance

For citation: Abramova O.F. The use of web-based roadmaps to solve problems in building an individual educational trajectory // Research result. Information technologies. – Т. 10, №2, 2025. – P. 57-68. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-6

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире достаточно остро стоит проблема избыточности информации, что значительно усложняет планирование достижения сложных целей, особенно, если эти цели еще и недостаточно четко сформулированы. Ярким примером такой ситуации может служить необходимость планирования собственной траектории обучения, которая может возникнуть как для взрослого человека, уже прошедшего какие-то уровни образования и способного четко формулировать цели, но желающего, например, обучиться новой профессии, так и для школьника, который находится вначале пути и кроме общего представления о «направлении движения» не может ничего толком сформулировать. При этом любые категории в процессе поиска информации для построения плана достижения своих образовательных целей сталкиваются, так или иначе, с информационным шумом, недостаточно эффективными механизмами проверки актуальности и достоверности найденной информации и, главное, отсутствием возможности коммуникации и обмена опытом, а также обратной связи и отслеживания рейтинга предлагаемых решений.

Построение личной образовательной траектории является очень важной задачей для старшеклассника, либо человека, планирующего изучить новую профессию. В статьях [1-3] авторы рассматривают различные подходы к построению индивидуальных образовательных траекторий, однако, инициатором в них выступает образовательная организация либо педагог, что невозможно при индивидуальном поиске информации по обучению какой-то профессии. В период выбора своего будущего профессионального пути, молодые люди часто посвящают много времени поиску информации о том, какие профессии им подходят, какие у них есть обязанности и возможности, а также требования к ним. Плохая информированность, недостаточная точность и неопределённость при принятии решений о карьере могут привести к неверному выбору пути и разочарованию в выбранном направлении. Отсутствие структурированности в статьях, хаотично обнаруженных в сети, разная подача информации в источниках, сложности сведения собранных сведений в общую стратегию достижения цели – все это усиливает ощущение потери в океане информации, что сильно (иногда критично) влияет на вовлеченность и мотивацию построения эффективной и качественной образовательной траектории.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Анализ проблем

Процесс поиска информации с целью построение структурированного и информативного плана достижения поставленных целей сопряжен с рядом проблем. В работах [4,5] рассматривается проблема с организацией поисковых запросов и определения достоверности информации с точки зрения осуществления профориентационных исследований в сети Интернет молодыми людьми –

студентами и школьниками. В ходе исследований в разных странах было установлено, что студенты испытывают трудности при организации поисковых запросов и критическом отношении к ресурсу. Это приводит к использованию информации, которая по разным причинам не соответствует действительности. Как правило, молодые люди предпочитают поверхностный поиск, используя первые несколько ссылок, выданных поисковой машиной, либо доверяют популярным, рекомендованным авторитетами сайтам. Поверхностное представление о теме из-за недостаточных знаний в исследуемой области, что характерно для поиска данных для построения траектории обучения и развития в совершенно незнакомой для пользователя профессиональной области, также негативно влияют на фильтрацию найденной информации.

Несмотря на значительное количество методов и инструментов для поиска информации в сети Интернет [6], часто это дает отрицательный эффект. Избыток доступной информации может запутать пользователя, привести к существенной потере времени и энергии, затрачиваемых на фильтрацию, структурирование и проверку актуальности данных, что грозит снижением мотивации для встраивания собственной траектории обучения. В работах [7, 8], проводя исследование формирования мотивационной готовности молодежи к профессиональной деятельности, авторы делают вывод, что выбор профессии основан не только на личных предпочтениях, но и на понимании собственных способностей и корреляции их с требованиями рынка труда, а также видении понятного пути обучения в выбранной профессиональной области и профессиональных перспективах. Но в ситуации избыточности информации и неспособности выполнения адекватной ее оценки актуальности и достоверности, довольно сложно разобраться в незнакомой теме, а тем более выстроить понятную образовательную траекторию.

Основываясь на анализе литературных источников, а также различных статистических исследованиях, можно выделить перечень основных проблем в области поиска информации для построения личной образовательной траектории (рис. 1), каждая из которых требует выработки адекватного решения.



Рис. 1 Моделирование проблем в области поиска информации

Fig. 1. Modeling problems in the field of information retrieval

Как утверждают авторы в работах [9-11], определение будущей профессии и понимание этапов обучения, включающих как наиболее релевантные курсы, обучающие программы учебных заведений разного уровня, так и необходимую учебную литературу, статьи, а также изучение чужого опыта необычайно важно для современного школьника, а также любого человека,

имеющего желание изучить новую профессию. Однако, собрать информацию – это пол дела. Важно эту информацию правильно отфильтровать, структурировать и вписать в наглядную и понятную стратегию личностного профессионального роста. В работах [12, 13] рассматриваются различные способы визуализации стратегий и процессов, такие как: Mind Maps (майнд-карты, ментальные карты), Roadmap (дорожные карты), диаграмма Ганта, доски Kanban, диаграммы потоков данных (DFD), Swimlane Diagrams. Каждый из этих способов обладает как преимуществами, так и недостатками, основным из которых можно считать необходимый уровень понимания методики и работы с соответствующими программными инструментами.

Для исследуемой задачи – построения понятной образовательной траектории – наиболее удобными можно считать ментальные и дорожные карты. План-карта или дорожная карта (roadmap) представляет собой график, отображающий процесс выполнения проекта либо стратегический план: цели и пути их достижения. Дорожные карты широко применяются в различных сферах: и в бизнесе для визуализации стратегии реализации проекта [14], и в корпоративном обучении, и в планировании личного развития. С помощью дорожной карты можно, например, легко и быстро организовать взаимодействие проектной команды, представить проект на всеобщее обозрение, оценить и понять перспективы развития проекта. К преимуществам использования дорожных карт с наличием обратной связи и возможности просмотра рейтинга результатов при построении образовательной траектории можно отнести:

- структурированный подход к отображению большого количества разнородной и распределенной по множеству источников информации;
- предсказуемость и понятность представления общей стратегии развития, что повышает эффективность распределения времени и ресурсов;
- возможность мониторинга и оценки достижений, что повышает вовлеченность и мотивацию на дальнейшее развитие.

Гораздо проще психологически идти по тому пути, который уже кто-то прошел, оценил и достиг в результате значительных успехов.

Ментальная или интеллект-карта (mind maps) – это схематичное отображение объектов, концепций, действий и связей между ними. Формально, ментальные карты также успешно решают выявленные проблемы. Но, так как речь идет о стратегическом планировании, то интуитивно понятным и вдохновляющим будет представление образовательной траектории в формате дорожных карт, которые визуально помогают осознать последовательность действий для достижения поставленных целей. Roadmap, построенная по принципу «от настоящего к будущему» позволит увидеть весь образовательный путь и определить свое положение на нем. При этом, такая визуализация может быть достаточно информативна, если в нее включены вариации достижения промежуточных целей, и актуальна, если вложенная информация будет проверяться как автоматически, так и реальными пользователями на основании собственного опыта.

Анализ программных аналогов

Существуют специализированные сервисы для создания дорожных карт проекта, например, Migo и Week, но для решения поставленной задачи они не подходят, так как не обладают функционалом и возможностями для фокусированной демонстрации результатов с целью проведения профориентационной работы и вовлечения потенциальных пользователей. Более подходящими решениями можно считать сервис roadmap.sh. (B1) – основной конкурент, а также dev.to (B2), medium.com (B3), dtf.ru (B4) и gamedev.ru (B5). Эти ресурсы были выбраны для сравнительного анализа еще и по той причине, что изначальная фокусировка при поиске решений поставленной задачи была на построения образовательных дорожных карт для ИТ-специалистов.

Для сравнительного анализа программных аналогов были выбраны следующие критерии:

1. A₁ – уровень структурированности представляемой информации;
2. A₂ – наличие функционала для обратной связи;
3. A₃ – актуальность информации (обновляемость, релевантность);
4. A₄ – объем информации по выбранной теме;

5. A_5 – сложность информации.

Были рассчитаны весовые коэффициенты каждого критерия (табл. 1) и определены интегральные показатели качества программных продуктов (табл. 2).

Таблица 1

Весовые коэффициенты критериев

Table 1

Weighting factors of criteria

Критерий	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	Среднее арифметическое	Вес критерия
A_1	1	2	3	0,5	0,33	1	0,16
A_2	0,5	1	2	0,33	0,25	0,61	0,1
A_3	0,33	0,5	1	0,25	0,2	0,38	0,06
A_4	2	3	4	1	0,5	1,64	0,26
A_5	3	4	5	2	1	2,61	0,42
						6,24	1

Таблица 2

Интегральный показатель качества программных аналогов

Table 2

An integral indicator of the quality of software analogues

Критерий	Весовой коэффициент	Программный продукт					Базовое значение
		B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	
A_1	0,16	7	3	1	3	4	3,6
A_2	0,1	3	6	6	7	5	5,4
A_3	0,06	7	2	2	2	2	3
A_4	0,26	4	5	5	6	4	4,8
A_5	0,42	4	3	3	4	4	3,6
Интегральный показатель качества		4,5	3,7	3,4	4,5	3,9	4,05

Проведенный сравнительный анализ программных аналогов показал, что только сервисы roadmap.sh. (B_1) и dtf.ru (B_4) имеют интегральный показатель качества выше среднего уровня, но при этом даже они не обладают всеми выделенными характеристиками.

Анализ проблем в области профориентации и сравнительный анализ программных аналогов показал множество проблем при поиске существенной и достоверной информации для построения личной образовательной траектории с целью обучения определенной профессии. Применение дорожных карт для этих целей в сочетании с механизмом обратной связи позволит существенно упростить все процессы и повысить их эффективность. Поэтому разработку собственной программно-информационной системы, позволяющей строить дорожные карты образовательных траекторий, можно считать необходимой и потенциально востребованной как в области профориентационной деятельности, так и в схожих областях.

Анализ требований на разработку системы

Разработка цифрового решения для визуализации образовательной траектории должна решить несколько принципиальных задач: простой механизм объединения распределенной по разным источникам информации, наличие удобного и интуитивно понятного редактора, наличие механизмов оценивания и комментирования, обеспечение актуальности и качества, модерация контента.

Исходя из этого была реализована модель требований в нотации UML, представленная на рисунке 2, на которой отображены основные варианты использования проектируемой веб-системы для создания и просмотра дорожных карт. Как видно из модели, проектируемая система должна предоставлять возможности авторизации в системе, создания и редактирования дорожных карт, просмотра каталога и отдельной карты, подписки на дорожные карты и получение уведомлений при их изменении, поиск дорожных карт по набору фильтров.

Наибольший интерес из выделенных вариантов использования системы представляют вариант «Создать дорожную карту (ДК)» (рис. 3) и «Детальный просмотр дорожной карты (ДК)» (рис.4).

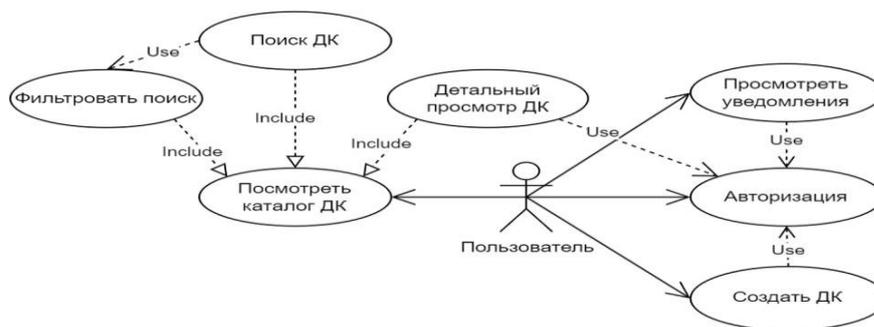


Рис. 2. Общая модель функциональных требований к системе
Fig. 2. The general model of functional requirements for the system

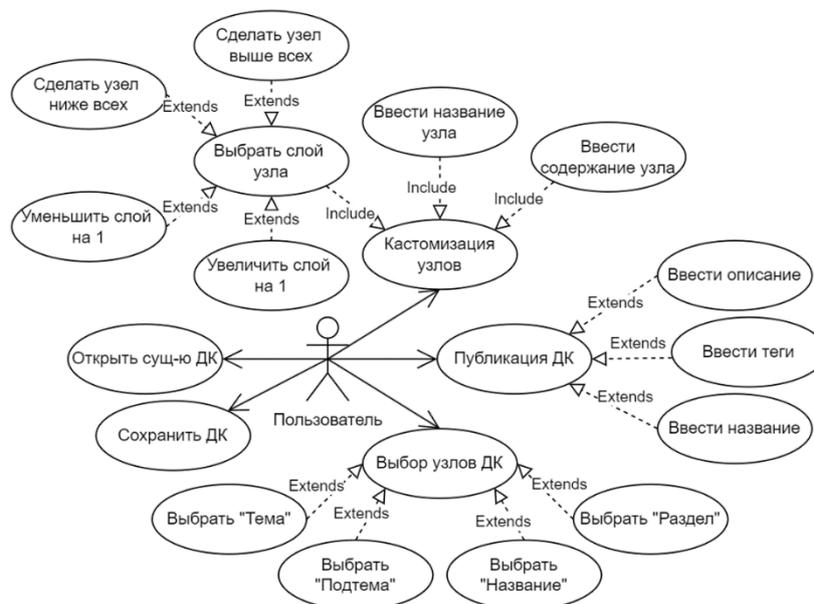


Рис. 3. Модель варианта использования «Создать дорожную карту»
Fig. 3. The "Create a Roadmap" Use Case model

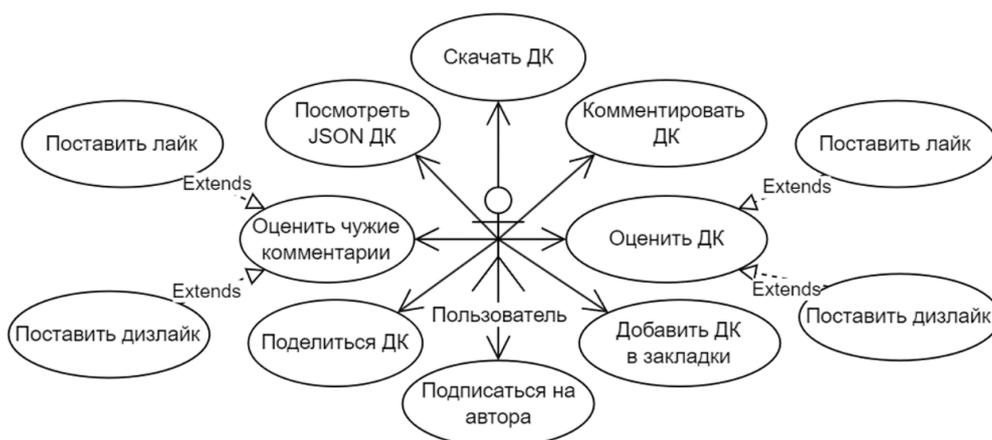


Рис. 4. Модель варианта использования «Детальный просмотр дорожной карты»
Fig. 4. The "Detailed Roadmap View" use case model

При создании дорожной карты (рис. 3) предполагается использовать следующие типы компонентов:

1. примитив – прямоугольный элемент с возможностью кастомизации;
2. узел – основной элемент, с возможностью добавления текстового содержания и ссылок;
3. текст – основная и дополнительная информация, названия для одного узла и для объединения узлов (раздел);
4. соединительные компоненты – стрелки.

Также должно быть доступно послойное отображение элементов для исключения перекрытий на холсте. Макет интерфейса редактора диаграмм представлен на рисунке 5.

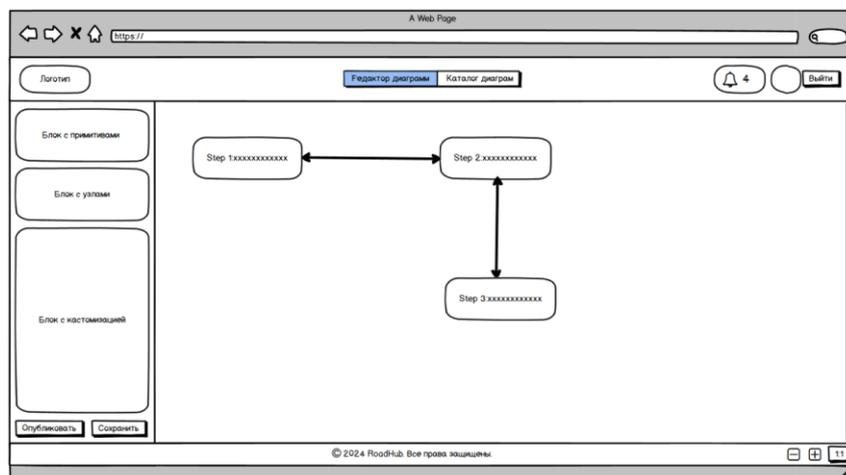


Рис. 5. Макет интерфейса редактора дорожных карт
Fig. 5. Layout of the roadmap editor interface

При этом важным функционалом является возможность редактирования дорожной карты не только создателем, но и другими пользователями, которые имеют другой опыт достижения рассматриваемой цели и могут предложить дополнение или альтернативный вариант. Проектируемые возможности системы для реализации этой задачи представлены на макете страницы редактирования дорожной карты (рис. 6).

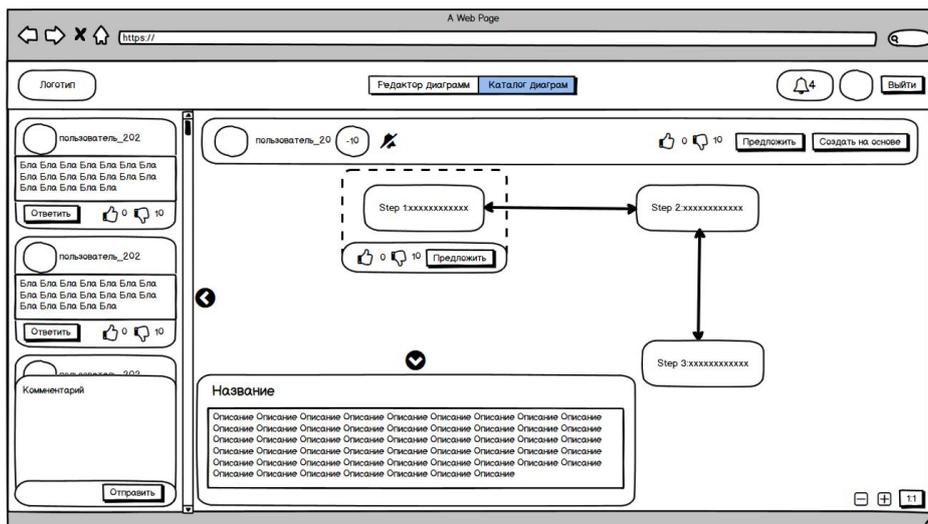


Рис. 6. Макет страницы редактирования дорожной карты
Fig. 6. Layout of the roadmap editing page

При просмотре дорожной карты (рис.4) предполагается отображение описания, изображения и структуры дорожной карты, а также реализация возможности скачать дорожную карту, оценить ее (причем, должны быть доступны как положительная, так и отрицательная оценки), оставить свой комментарий и оценить чужие, подписаться на автора, добавить карту в закладки, посмотреть JSON-файл карты и поделиться ссылкой на карту с другими пользователями. Для упрощения понимания результата был разработан макет страницы просмотра дорожной карты (рис. 7), на котором представлены основные доступные функции и информация.

Помимо этого, важными требованиями также являются:

- возможность оценить деятельность автора дорожных карт, на основании чего должен формироваться рейтинг автора, позволяющий оценить его опыт и профессионализм;

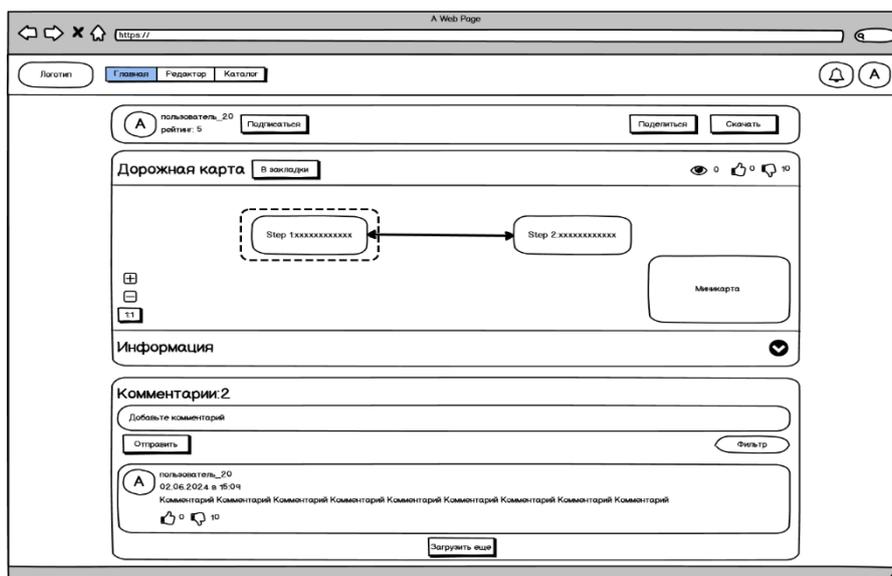


Рис. 7. Макет страницы просмотра дорожной карты
Fig. 7. Layout of the roadmap view page

- реализация удобного представления каталога дорожных карт – в виде карточек с кратким описанием и демонстрацией основных показателей качества (количество положительных и отрицательных оценок, рейтинг создателя и т.п.);

• многокритериальный поиск, включая поиск по тегам, для упрощения поиска карты и улучшения пользовательского опыта.

Полноцветный макет главной страницы системы, демонстрирующей каталог дорожных карт и основной функционал, представлен на рисунке 8.

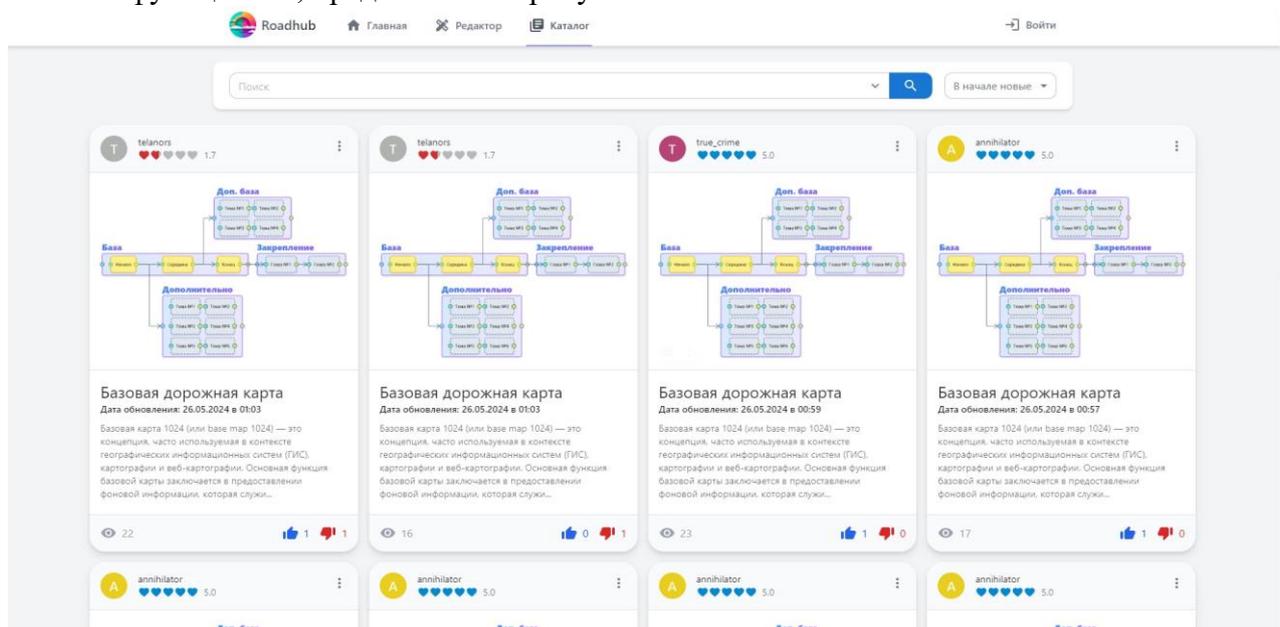


Рис. 8. Макет главной страница веб-системы
Fig. 8. Layout of the main page of the web system

Оценка качества проектируемой системы

Для оценки качества веб-портала для конструирования образовательных дорожных карт необходимо выполнить сравнительный анализ времени, затрачиваемого на поиск информации. Для этого важно сформулировать алгоритм поиска, характерный для обычного пользователя. Данный алгоритм может быть представлен следующей моделью (рис.9). Недостатки этой модели в том, что каждый из узлов разветвления, представляющих этапы поиска и отбора источников информации и данных в этих источниках, предполагает существенные временные и трудозатраты для заинтересованного лица из-за большого количества источников, непонимания критериев оценки их актуальности и релевантности пользователем, а также неспособности в принципе найти нужные источники из-за неправильной постановки условий поиска, вследствие отсутствия компетентности.

В проектируемой же системе данные этапы будут частично сокращены и оптимизированы за счет компоновки в одном источнике всей необходимой информации, удобно структурированной и визуализированной. Наличие отзывов и системы рейтинга как непосредственно дорожных карт, так и авторов позволит максимально повысить уверенность в актуальности и релевантности информации. Конечно, наибольшую ценность такая система будет иметь только после привлечения авторитетного сообщества и экспертов, но и на начальных этапах, например, для личной проработки поставленных целей и формирования дорожной карты их достижения, платформа будет очень полезна.

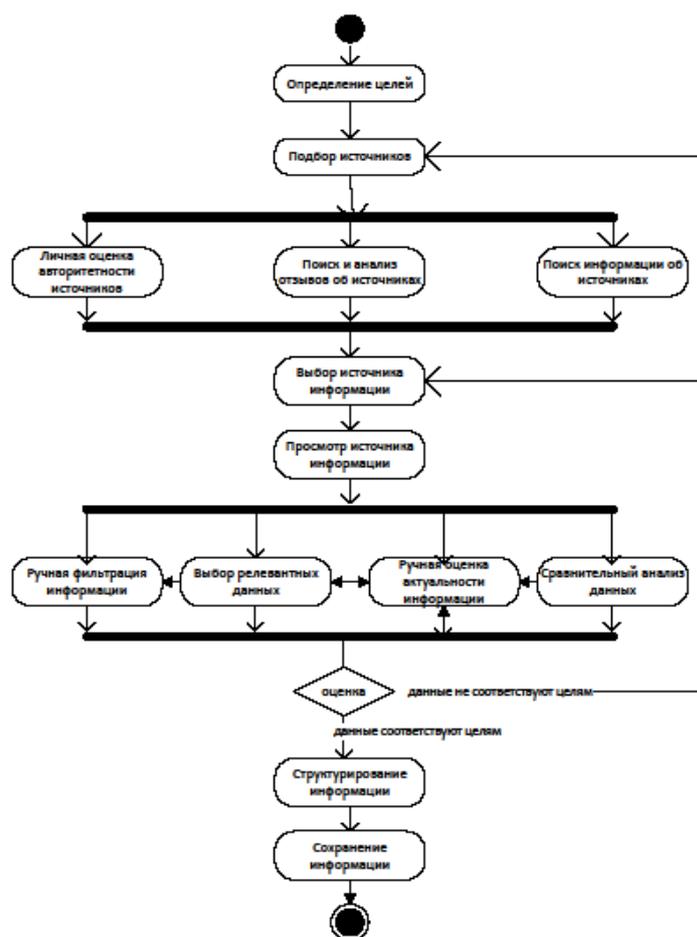


Рис. 9. Алгоритм поиска информации, релевантной поставленным целям
Fig. 9. An algorithm for finding information relevant to the goals set

Удобный интерфейс, автоматизация удаления устаревших данных, понятная визуализация и объединение максимального количества информации на одном ресурсе значительно повысит эффективность процесса принятия решений для пользователя, имеющего желание выстроить понятный и актуальный путь обучения интересующей профессии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современный рынок труда постоянно растет и развивается. Появляются новые профессии, которым целенаправленно не обучают в средних и высших учебных заведениях и которые предполагают поэтапное разностороннее обучение. Часто потенциальный обучающийся имеет весьма смутные представления как о требуемых профессиональных навыках в интересующей его области, так и о возможностях обучения, а также о последовательности этапов и критериях оценки имеющейся информации. В статье были рассмотрены этапы процесса поиска информации в области профориентации, характерные как для школьников, так и для всех, кто хочет обучиться новой профессии, количество которых растет с каждым днем. Были зафиксированы и проанализированы проблемы этого процесса. Авторы пришли к выводу, что визуализация этапов обучения в формате дорожной карты с помощью простого и многофункционального редактора, а также возможность демонстрации, оценки и комментирования построенных дорожных карт в области профориентации на специализированной веб-платформе будут полезны и актуальны.

Был проведен сравнительный анализ программных аналогов для построения целевых дорожных карт, связанных с обучением, по методу Саати. В результате был сделан вывод о том, что существующие программные ресурсы не в полной мере решают выявленные проблемы. Учитывая

собранные данные, были сформулированы и визуализированы требования к веб-платформе для построения обучающих дорожных карт, а также предложен способ оценки качества проектируемой системы.

Список литературы

1. Мрочек Т.В. Построение индивидуальной образовательной траектории на основе алгоритма муравьиной колонии / Т.В. Мрочек // Качество подготовки специалистов в техническом университете: проблемы, перспективы, инновационные подходы: Материалы VI Международной научно-методической конференции, Могилев, 18 ноября 2022 года / Учреждение образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий»; редкол.: А.С. Носиков (отв. ред.) [и др.]. – Могилев: Учреждение образования "Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий", 2022. – С. 70-72. – EDN WTFCXJ.
2. Заславский А.А. Иерархическая структура способов применения чат-ботов при автоматизации построения индивидуальных образовательных траекторий / А.А. Заславский // Вестник МГПУ. Серия: Информатика и информатизация образования. – 2022. – № 2(60). – С. 86-94. – DOI 10.25688/2072-9014.2022.60.2.08. – EDN QXRUCI.
3. Ильина Т.С. Возможности информационных технологий при построении индивидуальной образовательной траектории средствами образовательной инженерии / Т.С. Ильина // Образовательная инженерия. Понятия. Подходы. Приложения. – Москва: Научно-техническое издательство "Горячая линия-Телеком", 2021. – С. 149-155. – EDN CMXDKK.
4. Матвеева Е.П., Кошеева Е.С. Проблемы поиска достоверной информации студентами в сети интернет // Педагогическое образование в России. 2021. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemuy-poiska-dostovernoy-informatsii-studentami-v-seti-internet> (дата обращения: 16.07.2024).
5. Фартушнов М.А. Исследование и разработка цифровой дорожной карты для разработчика видеоигр / М.А. Фартушнов // Фундаментальные и прикладные научные исследования: инноватика в современном мире: Сборник научных статей по материалам XIV Международной научно-практической конференции, Уфа, 26 апреля 2024 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2024. – С. 63-66. – EDN FJOENL.
6. Миширяков И.В., Шевелев А.Д., Макаrchук Д.В., Жданова М.М. Исследование инструментов и методов для сбора и анализа открытой информации в сети интернет (osint) // Вестник науки. 2024. №6(75). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-instrumentov-i-metodov-dlya-sbora-i-analiza-otkrytoy-informatsii-v-seti-internet-osint> (дата обращения: 16.07.2024).
7. Морозова Н.Э. Трудности подростков при профессиональном самоопределении / Н.Э. Морозова // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 90-1. – С. 96-99. – DOI 10.18411/trnio-10-2022-28. – EDN RKTFJZ.
8. Богомолова О.Ю. Проблема мотивационной готовности к выбору профессии у студентов вузов / О.Ю. Богомолова // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2019. – Т. 8, № 2(27). – С. 302-304. – DOI 10.26140/anip-2019-0802-0070. – EDN DWAPUZ.
9. Терещенко С.А. Проблемы профориентации личности в глобализирующемся обществе / С.А. Терещенко, Т.В. Тихомирова // Культура и время перемен. – 2022. – № 2(37). – EDN BWJSIF.
10. Кононенко В.В. Проблемы профессионального самоопределения / В.В. Кононенко, С.П. Горзова, Е.А. Мирошниченко // Профнавигация молодежи: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию КубГТУ, Краснодар, 21 апреля 2023 года. – Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2023. – С. 149-154. – EDN QAMNBV.
11. Казанцева Л.А. Актуальные проблемы профориентации школьников / Л.А. Казанцева, В.И. Красильников, С.Я. Казанцев // Вестник экономической безопасности. – 2022. – № 1. – С. 315-317. – DOI 10.24412/2414-3995-2022-1-315-317. – EDN LEQOLE.
12. Chernyakova Yu.S. Visualization strategies in teaching contexts / Yu.S. Chernyakova, I.Yu. Migdal // INTED2022 Proceedings: 16th International Technology, Education and Development Conference, Валенсия, 07–08 марта 2022 года. – Валенсия: IATED, 2022. – P. 4533-4538. – EDN BSOTWJ.
13. Визуализация процессов в управлении проектами: URL: <https://weeek.net/ru/blog/visualization-of-project-processes> (Дата обращения 10.07.2024).
14. Шамина Е. Что такое дорожная карта проекта: URL: <https://weeek.net/ru/blog/roadmap> (Дата обращения 10.07.2024).

References

1. Mrochek T.V. Construction of an individual educational trajectory based on the ant colony algorithm / T.V. Mrochek // Quality of training specialists at a technical university: problems, prospects, innovative approaches: Proceedings of the VI International Scientific and Methodological Conference, Mogilev, November 18, 2022 / Educational institution "Belarusian State University of Food and Chemical Technologies"; editorial board: A.S. Nosikov (editor) [et al.]. - Mogilev: Educational institution "Belarusian State University of Food and Chemical Technologies", 2022. - P. 70-72. - EDN WTFXCJ.
2. Zaslavsky A.A. Hierarchical structure of methods for using chatbots in automating the construction of individual educational trajectories / A.A. Zaslavsky // Bulletin of Moscow State Pedagogical Univ. Series: Computer Science and Informatization of Education. – 2022. – No. 2(60). – P. 86-94. – DOI 10.25688/2072-9014.2022.60.2.08. – EDN QXRUCI.
3. Ilyina T.S. Possibilities of information technologies in building an individual educational trajectory by means of educational engineering / TS Ilyina // Educational engineering. Concepts. Approaches. Applications. - Moscow: Scientific and technical publishing house "Hot Line-Telecom", 2021. - P. 149-155. – EDN CMXDKK.
4. Matveeva E.P., Koshcheeva E.S. Problems of students' search for reliable information on the Internet // Pedagogical education in Russia. 2021. No. 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-poiska-dostovernoy-informatsii-studentami-v-seti-internet> (date of access: 16.07.2024).
5. Fartushnov M.A. Research and development of a digital roadmap for a video game developer / M.A. Fartushnov // Fundamental and applied scientific research: innovation in the modern world: Collection of scientific articles based on the materials of the XIV International Scientific and Practical Conference, Ufa, April 26, 2024. – Ufa: Limited Liability Company "Scientific Publishing Center" Vestnik Nauki ", 2024. – Pp. 63-66. – EDN FJOEHL.
6. Mishchiryakov I.V., Shevelev A.D., Makarchuk D.V., Zhdanova M.M. Study of tools and methods for collecting and analyzing open information on the Internet (osint) // Vestnik Nauki. 2024. No. 6(75). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-instrumentov-i-metodov-dlya-sbora-i-analiza-otkrytoy-informatsii-v-seti-internet-osint> (date of access: 16.07.2024).
7. Morozova N.E. Difficulties of adolescents in professional self-determination / N.E. Morozova // Trends in the development of science and education. – 2022. – No. 90-1. – P. 96-99. – DOI 10.18411/trnio-10-2022-28. – EDN RKTFJZ.
8. Bogomolova O.Yu. The problem of motivational readiness for choosing a profession among university students / O.Yu. Bogomolova // Azimuth of scientific research: pedagogy and psychology. – 2019. – Vol. 8, No. 2(27). – P. 302-304. – DOI 10.26140/anip-2019-0802-0070. – EDN DWAPUZ.
9. Tereshchenko S.A. Problems of career guidance of an individual in a globalizing society / S.A. Tereshchenko, T.V. Tikhomirova // Culture and time of change. – 2022. – No. 2(37). – EDN BWJSIF.
10. Kononenko V.V. Problems of professional self-determination / V.V. Kononenko, S.P. Gorzova, E.A. Miroshnichenko // Career guidance of youth: collection of materials of the VI International scientific and practical conference dedicated to the 105th anniversary of KubSTU, Krasnodar, April 21, 2023. – Krasnodar: Kuban State Technological University, 2023. – P. 149-154. – EDN QAMNBB.
11. Kazantseva L.A. Actual problems of career guidance of schoolchildren / L.A. Kazantseva, V.I. Krasilnikov, S.Ya. Kazantsev // Bulletin of Economic Security. – 2022. – No. 1. – P. 315-317. – DOI 10.24412/2414-3995-2022-1-315-317. – EDN LEQOLE.
12. Chernyakova Yu.S. Visualization strategies in teaching contexts / Yu.S. Chernyakova, I.Yu. Migdal // INTED2022 Proceedings: 16th International Technology, Education and Development Conference, Valencia, March 7–8, 2022. – Valencia: IATED, 2022. – P. 4533–4538. – EDN BSOTWJ.
13. Visualization of processes in project management: URL: <https://weeek.net/ru/blog/visualization-of-project-processes> (Accessed: 10.07.2024).
14. Shamina E. What is a project roadmap: URL: <https://weeek.net/ru/blog/roadmap> (Accessed: 10.07.2024).

Абрамова Оксана Федоровна, доцент кафедры «Информатика и технология программирования», Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волжский, Волгоградская область, Россия

Abramova Oksana Fedorovna, Associate Professor of the Department of Informatics and Programming Technology, Volzhsky Polytechnic Institute (branch) Volgograd State Technical University, Volzhsky, Volgograd region, Russia

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ
ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DECISION MAKING**

УДК 004.82

DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-7

Басов О.О.¹
Офицеров А.И.²**АВТОМАТИЧЕСКИЙ РАЗБОР ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ
ПРОИСШЕСТВИЙ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО
АНАЛИЗА ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**¹) Акционерное общество «АСТ», пер. Капанова, 3, стр. 2, г. Москва, 123242, Россия²) Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», ул. Приборостроительная, 35, г. Орёл, 302034, Россия*e-mail: o.basov@acti.ru***Аннотация**

В работе предложено задачу разбора дорожно-транспортных происшествий автоматизировать и интеллектуализировать. Для этого важные для разбора данные, представленные разными модальностями, автоматически поступают в интеллектуальную систему, где происходит их интерпретация, синхронизация по времени и пространству и объединение для принятия итогового решения. Реализация каждой из процедур автоматического разбора дорожно-транспортного происшествия требует однозначного определения вида, объема и семантики информации, поступающей от объектов наблюдения. Полученные в работе результаты свидетельствуют о перспективности выбранного подхода к решению задачи автоматического разбора дорожно-транспортных происшествий на основе мультимодального анализа данных с использованием технологий искусственного интеллекта.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие; интерпретация; мультимодальность; автоматический разбор; интеллектуальная поддержка принятия решения

Для цитирования: Басов О.О., Офицеров А.И. Автоматический разбор дорожно-транспортных происшествий на основе мультимодального анализа данных с использованием технологий искусственного интеллекта // Научный результат. Информационные технологии. – Т. 10, №2, 2025. – С. 69-83. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-7

Basov O.O.¹
Ofitserov A.I.²**AUTOMATIC PARSING TRAFFIC ACCIDENTS BASED
ON MULTIMODAL DATA ANALYSIS USING ARTIFICIAL
INTELLIGENCE TECHNOLOGIES**¹) Joint Stock Company «AST», trans. Kapranova, 3, building 2, Moscow, 123242, Russia²) Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitelnaya St., Orel, 302034, Russia*e-mail: o.basov@acti.ru***Abstract**

The paper proposes to automate and intellectualize the task of analyzing traffic accidents. To do this, the data presented in different modalities, which is important for analysis, is automatically fed into an intelligent system, where it is interpreted, synchronized in time and space, and combined to make a final decision. The implementation of each of the procedures for the automatic analysis of

a traffic accident requires an unambiguous definition of the type, volume and semantics of the information coming from the objects of supervision. The results received in work testify to prospects of the chosen approach to the solution of a problem of automatic analysis of road accidents on the basis of the multimodal analysis of data with use of technologies of artificial intelligence.

Keywords: traffic accident; interpretation; multimodality; automatic parsing; intellectual support of decision-making

For citation: Basov O.O., Ofitserov A.I. Automatic parsing traffic accidents based on multimodal data analysis using artificial intelligence technologies // Research result. Information technologies. – Т. 10, №2, 2025. – P. 69-83. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-7

ВВЕДЕНИЕ

В современной практике наблюдается значительное расширение спектра задач, в которых для лиц, принимающих решения, критически важен детальный анализ структуры и динамики объектов сцены. Это охватывает широкий спектр приложений, включая анализ ситуаций в закрытых пространствах, мониторинг в местах массового скопления людей, управление движением робототехнических систем и разбор дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Ключевыми аспектами этих задач являются распознавание как статических, так и динамических объектов сцены, а также выявление активных действий и событий, что особенно важно для обнаружения несанкционированных действий в общественных местах, разбора ДТП, а в перспективе – определения событий, предшествующих реальной сцене, и прогнозирование последующих событий. Однако на современном этапе развития техники и технологий отсутствует эффективный научно-методический аппарат решения данного класса задач из-за сложности и многообразия поведения объектов реального мира.

Разработка интеллектуальных методов и систем интерпретации сцен и событий требует создания эффективных подходов к формализации различных модальностей данных, таких как изображения, видеопоследовательности, аудиосигналы и текстовые данные. Целью данной работы является извлечение семантического описания сцены, которое адекватно соответствует поставленным перед системой целевым управляющим воздействиям. При этом наличие других модальностей, помимо визуального канала, является важнейшим информативным условием полной и достоверной интерпретации.

Возрастание спроса на автомобили и, соответственно, значительный рост их числа на дорогах обусловило увеличение количества ДТП, в том числе и достаточно сложных для разбора. В то же время число сотрудников групп разбора (в первую очередь высококвалифицированных) не увеличилось (а в некоторых субъектах даже уменьшилось). Все это способствует значительному повышению нагрузки на сотрудников, что в конечном итоге может привести к снижению эффективности их работы. В связи с этим остро встала проблема автоматизации отдельных процедур (а в идеале всего цикла) разбора ДТП на основе интеллектуальных методов и систем, связанных с интерпретацией сцен и событий.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАЗБОРА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ

В области анализа ДТП в настоящее время отсутствует систематическая методологическая база и стандартизированные подходы к их разбору. Основным методом, применяемым на практике, остается автотехническая экспертиза. Однако ограниченные возможности существующих методов и недостаточное их применение в расследовании ДТП часто приводят к ошибочным выводам, что подчеркивает необходимость разработки более совершенных аналитических инструментов. Полная реконструкция механизма ДТП является критически важным условием для обеспечения обоснованности и объективности выводов по всем связанным с происшествием вопросам.

Традиционный подход к проведению автотехнической экспертизы основывается на фундаментальных принципах кинематики и трасологии. Методологические основы данного подхода

включают использование кинематических расчетов, направленных на определение параметров движения идеализированной материальной точки в пространстве и времени [1].

В рамках данного подхода анализируются такие ключевые параметры движения, как путь, перемещение, скорость и следы, образовавшиеся на поверхности в результате динамического взаимодействия. Однако данный метод характеризуется высокой степенью абстракции и требует применения значительного числа допущений и упрощений. Для минимизации этих условностей и обеспечения более точной оценки обстоятельств ДТП используются поправочные коэффициенты и методы усреднения значений параметров движения. Эти коэффициенты, как правило, базируются на эмпирических данных и включают такие параметры, как время срабатывания тормозного привода, коэффициенты сцепления, сопротивления перемещению, эффективности торможения и другие [2].

Важно отметить, что некоторые аспекты, такие как изменение кинетической энергии транспортных средств вследствие деформации при столкновении, часто не учитываются в рамках данного подхода. Интерпретация ДТП осуществляется методом мысленного реконструирования события, при котором эксперт, основываясь на исходной информации и логических построениях, воссоздает структуру и динамику происшествия для оценки его непротиворечивости и выявления ключевых факторов.

В профессиональной среде наблюдается значительная вариативность в оценке ДТП среди экспертов, обладающих различным уровнем квалификации. Достоверность интерпретации таких инцидентов напрямую коррелирует с глубиной научных знаний и практическим опытом специалиста. В рамках типовых сценариев, включающих определение тормозного и остановочного пути, времени торможения и дистанции между транспортными средствами на момент столкновения, высокий уровень достоверности достигается за счет применения стандартных расчетных методик. Однако с усложнением ситуации возрастает роль субъективных факторов, влияющих на интерпретацию обстоятельств ДТП. Это требует разработки новых методологических подходов, основанных на интеллектуализации процессов принятия решений и мультимодальном анализе данных о происшествиях.

Для того, чтобы результаты разбора ДТП обладали максимальной достоверностью и полнотой, не зависели от сложности происшествия и квалификации эксперта, процедуры разбора целесообразно автоматизировать и интеллектуализировать, а входная информация, на основе которой будут получены эти результаты, должна содержать по возможности данные различных модальностей. В качестве таковых может выступать визуальная, акустическая и текстовая информация, а также навигационные данные о геолокации объектов интереса в конкретные моменты времени. Информация визуальной модальности может поступать с видеорегистраторов самого автомобиля и автомобилей – свидетелей ситуации, со стационарных камер системы «Безопасный город», видеозаписывающих устройств пешеходов, а также видеокамер группы разбора ДТП (как ручных, так и установленных на беспилотных воздушных судах (БВС)). Информацию акустической модальности, полезную для последующей интерпретации ДТП, могут предоставлять телефонные звонки участников ДТП, а также свидетелей происшествия, важной для последующего анализа причинно-следственных факторов является аудиоинформация с принятых видеопоследовательностей (визг тормозов, звук удара и т. п.). В качестве текстовой информации, которая после семантического разбора будет представлять определенную ценность для интерпретации ДТП, могут выступать объяснительные участников и свидетелей ДТП с пояснением ситуации, а также текстовая информация с принятых видеопоследовательностей (государственные регистрационные номера автомобилей, названия улиц, номера домов, текст баннеров и т. п.). Источниками навигационной информации могут являться спутниковые навигационные системы автомобилей (например, «ЭРА-ГЛОНАСС»), а также геоданные при включенной функции геолокации в сотовых телефонах участников ситуации. Причем эти данные не должны ограничиваться сугубо местом совершения ДТП. Для получения полной картины происшествий, выявления факторов и причин, способствовавших их совершению, зачастую бывает полезно «отмотать назад» течение событий и проанализировать, что им предшествовало, начиная с начала движения автомобиля – участника ДТП, заканчивая его эвакуацией с места происшествия.

Возможна и постановка обратной задачи, связанной с прогнозированием ДТП. В данном случае при фиксации, например, факта совершения участником дорожного движения опасного (нестандартного) действия, возникновения конфликтной ситуации на дороге и т. п. система должна запустить алгоритм «сопровождения опасного водителя», передавая информацию о нем элементам системы. Так как не все инициаторы опасных ситуаций на дороге в последующем становятся участниками ДТП, то для предотвращения перегрузки системы информацией алгоритм сопровождения (и, соответственно, сбор данных) целесообразно остановить через три-пять участков сопровождения (например, зон действий камер системы «Безопасный город») или через определенное установленное время. В прямой постановке задачу прогнозирования в настоящее время решить достаточно проблематично, ввиду отсутствия правовых и организационных механизмов ее реализации. Однако определенные процедуры обратной задачи возможно использовать в задаче разбора ДТП, например, для выявления факторов и условий, способствовавших или спровоцировавших его совершение.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ О ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОМ ПРОИСШЕСТВИИ

Для реализации возможности автоматического разбора ДТП на основе мультимодального анализа данных с использованием технологий искусственного интеллекта интеллектуальные системы мониторинга дорожной ситуации должны строиться по принципу объединения в единую сеть различных приемников модальностей (ПрМ), регистрирующих обстановку в зоне наблюдения. Такими ПрМ могут являться видеоприборы: стационарные камеры и камеры с возможностью управления положением оптической оси и величиной оптической силы объектива (например, стационарные камеры видеофиксации, камеры видеонаблюдения организаций и учреждений), а также камеры, размещенные на подвижных объектах (например, видеорегистраторы автомобилей, смартфоны пешеходов, камеры БВС), изменяющие свое положение как в пространстве, так и относительно друг друга. Некоторые из них, такие как стационарные камеры, установленные на автодорогах и зданиях городской инфраструктуры, уже объединены в рамках системы «Безопасный город» и будут представлять основные источники мультимодальной информации для последующего анализа, интеграция других в единую автоматизированную систему интеллектуального мониторинга требует реализации дополнительных механизмов. Кроме того, ПрМ могут являться приемники аудиоинформации (микрофоны видеокамер, накопители «Системы обеспечения вызова экстренных оперативных служб по единому номеру 112»), также для привязки к конкретным координатам необходимы приемники навигационных сигналов (ГЛОНАСС / GPS).

Создание интеллектуальных систем, базирующихся на мультимодальном анализе данных, представляет собой сложную задачу, требующую разработки надежных методов распознавания сигналов из различных каналов передачи информации, а также эффективных алгоритмов интеграции данных различных модальностей. Интеграция данных может осуществляться на разных уровнях их представления и с применением разнообразных фундаментальных стратегий, включая методы машинного обучения, статистический анализ и когнитивные модели [3]:

1) на уровне признакового описания («раннее объединение») информативные признаки f_1, \dots, f_N извлекаются из сигналов, поступающих от различных модальностей. Эти признаки интегрируются в единый вектор $F_{1,N}$, который затем поступает в блок обработки для формирования итогового решения D ;

2) на семантическом уровне принятия решений («позднее объединение») отдельные блоки обработки формируют локальные решения d_1, \dots, d_N на основе соответствующих признаков f_1, \dots, f_N . Эти локальные решения объединяются в вектор $D_{1,N}$, который служит основой для принятия итогового решения D относительно решаемой задачи или выдвинутой гипотезы распознавания;

3) гибридный подход объединяет преимущества обоих описанных методов и позволяет эффективно решать задачи распознавания мультимодальной информации.

Для автоматического разбора ДТП на основе мультимодального анализа данных целесообразным является применение стратегии гибридного объединения. При этом решение задачи поиска объектов интереса на изображениях и видеопоследовательностях (например, для определения номеров автомобилей, попавших во временной интервал совершения ДТП в зону действия камеры наблюдения, для последующего запроса информации с их видеорегистраторов) предусматривает применение первого подхода – стратегии «раннего объединения». Второй подход, известный как «позднее объединение» (*late fusion*), демонстрирует свою эффективность при интеграции методов анализа сигналов, полученных из различных модальностей и временных интервалов, а также из удаленных пространственных точек. В качестве примера можно привести использование скрытых марковских моделей (СММ) для анализа аудиосигналов и метода опорных векторов (*SVM*) для обработки изображений. Этот метод обеспечивает более высокую гибкость и адаптивность по сравнению с ранним объединением (*early fusion*), позволяя более эффективно интегрировать разнородные данные на поздних этапах обработки.

Таким образом, интеллектуальная поддержка принятия решения на основе мультимодального анализа данных о ДТП может быть сведена к последовательности процедур, реализуемых системой в автоматическом режиме и приводящих в итоге к оптимальному результату разбора:

- 1) выявление факта совершения ДТП;
- 2) сбор и обработка мультимодальной информации от всех возможных источников с места ДТП;
- 3) по результатам обработки – определение источников дополнительной мультимодальной информации, запрос и получение информации, обработка информации;
- 4) синхронизация и объединение входных модальностей от всех источников;
- 5) интерпретация ДТП и принятие решения по результатам разбора.

Для реализации каждой из процедур, ведущих к достижению поставленной цели – принятию решения по результатам разбора ДТП – необходимо однозначно определить вид, объем и семантику информации, поступающей от объектов наблюдения (рис. 1).

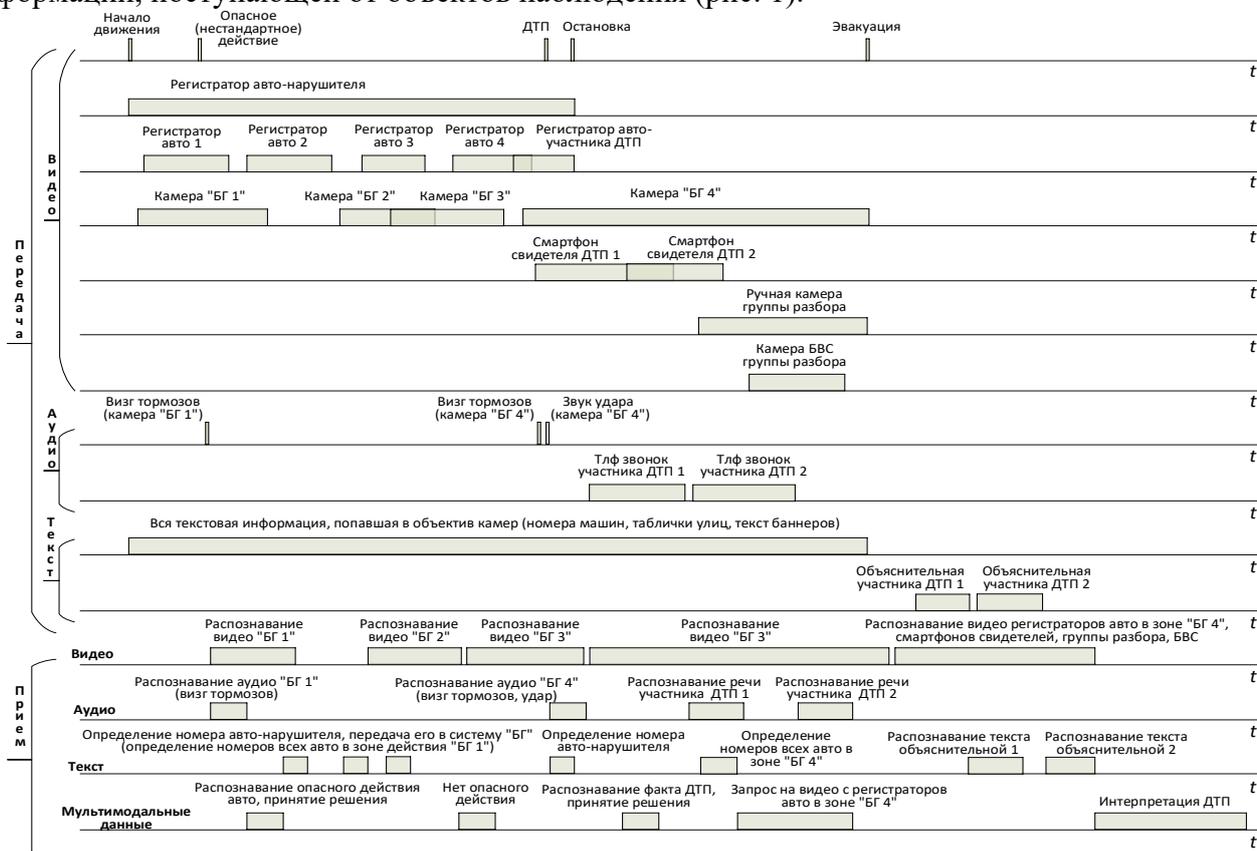


Рис. 1. Временные диаграммы процедур автоматического разбора ДТП
Fig. 1. Time diagrams of automatic accident analysis procedures

1. Выявление факта совершения ДТП

Для получения качественных результатов разбора ДТП выявление факта его совершения при интеллектуальной поддержке принятия решения должно осуществляться в режиме времени, близком к реальному [4], и в качестве входных данных для автоматического распознавания события ДТП могут выступать визуальная информация с видеокamer (например, стоящие вместе поперек дороги автомобили, упавший мотоцикл, лежащий на дороге человек и др.), текстуальная информация – заявления участников ДТП, а также аудиоинформация в режиме *on-line* (например, визг тормозов, звук удара при столкновении и др.) и в режиме *off-line* (например, с телефонных звонков участников или свидетелей ДТП).

Выявление факта совершения ДТП на основе информации визуальной модальности основано на достаточно изученных и широко распространенных методах распознавания статических и динамических объектов, составляющих основу большинства типичных задач видеонаблюдения. Некоторые методики решения задач данного типа основываются на применении СММ или искусственных нейронных сетей (ИНС), которые используют двухэтапный подход к обучению. На первом этапе СММ проходит обучение на большом наборе стандартных событий, что позволяет ей формировать обобщенные вероятностные модели этих событий. На втором этапе для обработки нестандартных событий применяется стохастическая ИНС, которая способна адаптироваться к новым условиям и распознавать редкие или неизвестные паттерны. Однако данный подход сталкивается с определенными проблемами достоверности результатов, связанными с тем, что в зоне действия первичных датчиков может присутствовать неизвестное количество объектов, подлежащих распознаванию. Эти объекты могут находиться в различных пространственных положениях и частично перекрываться, что затрудняет их точное определение и классификацию.

Задача идентификации факта ДТП на основе его семантических характеристик представляет собой сложную проблему, требующую применения современных методов анализа данных и искусственного интеллекта. В данном контексте поиск осуществляется на основании текстового или акустического описания, извлеченного из объяснительных записок, телефонных переговоров участников ДТП или других источников информации. Эти описания должны удовлетворять критериям, подтверждающим факт совершения ДТП, и обладать достаточной семантической насыщенностью для корректной интерпретации. Примером семантического описания может служить формулировка: «поврежденный автомобиль (или упавший мотоцикл), находящийся на пересечении соответствующих улиц». Для реализации семантического поиска необходимо выполнить операцию составления семантического индекса, включающую выделение семантических признаков из изображений и текстов, а также последующее построение сбалансированного дерева поиска, основанного на этих характеристиках. Важно отметить, что объем информации, полученной в результате выделения семантических признаков, значительно меньше объема исходных данных, что позволяет оптимизировать вычислительные ресурсы и повысить эффективность поиска.

2. Сбор и обработка мультимодальной информации от всех возможных источников с места ДТП

После выявления факта совершения ДТП система дает команду на сбор мультимодальной информации от всех ПрМ, находившихся в момент времени совершения ДТП в зоне интереса, ограниченной площадью, необходимой и достаточной для полного и достоверного разбора ДТП (например, перекресток / перекресток с прилегающими участками дорог / перекресток с прилегающими участками дорог и пешеходными дорожками и т. д.). При этом визуальная и аудиоинформация, полученная со стационарных камер системы «Безопасный город» в режиме времени, близком к реальному, является основной для предварительной интерпретации сцены ДТП и последующего определения источников дополнительной мультимодальной информации, необходимой для полной интерпретации ДТП.

Помимо стационарных камер системы «Безопасный город» источниками визуальной и акустической модальностей с места ДТП могут являться:

– видеорегистраторы автомобилей – участников ДТП (информация появляется в системе после предоставления ее автовладельцами сотрудникам группы разбора);

– видеорегистраторы автомобилей – свидетелей ДТП (информация может появиться в системе в случае, если после предварительной интерпретации сцены ДТП с помощью камер системы «Безопасный город» будут определены номера автомобилей, находящихся в зоне ДТП, автовладельцам будет послан запрос, после чего они предоставят информацию с видеорегистратора сотрудникам группы разбора);

– смартфоны пешеходов – свидетелей ДТП (информация может появиться в системе в случае, если после прибытия на место ДТП группой разбора обнаружены свидетели, находившиеся в зоне ДТП и заснявшие событие, которые предоставят информацию со смартфона сотрудникам группы разбора);

– камеры группы разбора – ручные и установленные на БВС (съемка производится в полном соответствии с требованиями автотехнической экспертизы).

Для динамических объектов в сцене ДТП применяется более комплексный подход, включающий анализ дополнительных параметров, таких как предыстория движения объекта, временные события и процедуры ассоциации. Предыстория движения позволяет классифицировать движения и интерпретировать их на понятийном уровне, что способствует более точной реконструкции событий. Временные события, накопленные в виде предыстории, играют ключевую роль в синтаксическом анализе сцены, позволяя идентифицировать последовательность действий и их взаимосвязь. (табл. 1).

Таблица 1

Классы движения

Table 1

Classes of movement

Название	Краткое описание	Области применения
Статические объекты	Неподвижные во времени и пространстве ситуации	Распознавание однотипных объектов сцены
Динамические объекты	Периодически изменяемые во времени ситуации	Сопровождение движущихся объектов сцены, определение их роли и места
События	Взаимодействие статических и динамических объектов	Анализ взаимодействий объектов сцены, отслеживание происшествий и нестандартных ситуаций различного рода
Сцены	Многоуровневые движения	Интерпретация активных действий объектов и событий сцены, определение количественных или качественных показателей наблюдаемого объекта или группы объектов

Траектория движения объекта, представленная в виде функциональной зависимости координат от времени, может быть подвергнута упрощенной аппроксимации. Основная цель данного подхода заключается в определении общего характера движения, а не в детализированном анализе его специфических параметров [5].

В рамках анализа дорожной сцены интерпретация информации осуществляется как процесс перемещения объектов на концептуальном уровне. Критически значимым аспектом данного анализа является исследование временных корреляций между объектами, включая такие феномены, как столкновение транспортных средств, падение мотоцикла на дорожное покрытие, проявления агрессивного или неадекватного поведения водителя или пешехода, а также генерацию звукового сигнала торможения и другие релевантные события.

Для проведения комплексного анализа ДТП рекомендуется применять процедуру ассоциации, которая характеризуется двумя фундаментальными параметрами [6]:

– мера сходства, учитывающая близость векторов признаков объектов, относительных преобразований и степень значимости объектов;

– подмножество объектов, подверженных глобальному движению.

Для формирования ассоциаций каждому элементу базы знаний, помимо его непосредственного описания, присваивается набор дополнительных характеристик. Значения этих характеристик рассчитываются на основе общей динамики сцены и включают следующие параметры:

– расстояние до объекта интереса, определяющее принадлежность к траектории движения;

– степень близости отношений с соседними объектами, связанными с рассматриваемым элементом;

– величина ассоциации, характеризующая значимость элемента, которая используется для определения приоритетности внимания к его траектории.

Формирование понятий основывается на пропорциональном увеличении значимости объектов, ассоциированных с определенными семантическими следами. Понятия конструируются как часто встречающиеся подструктуры, включающие наиболее релевантные объекты. На рисунке 2 представлен пример семантического анализа исходного изображения, который может быть использован для построения графа семантического разбора.

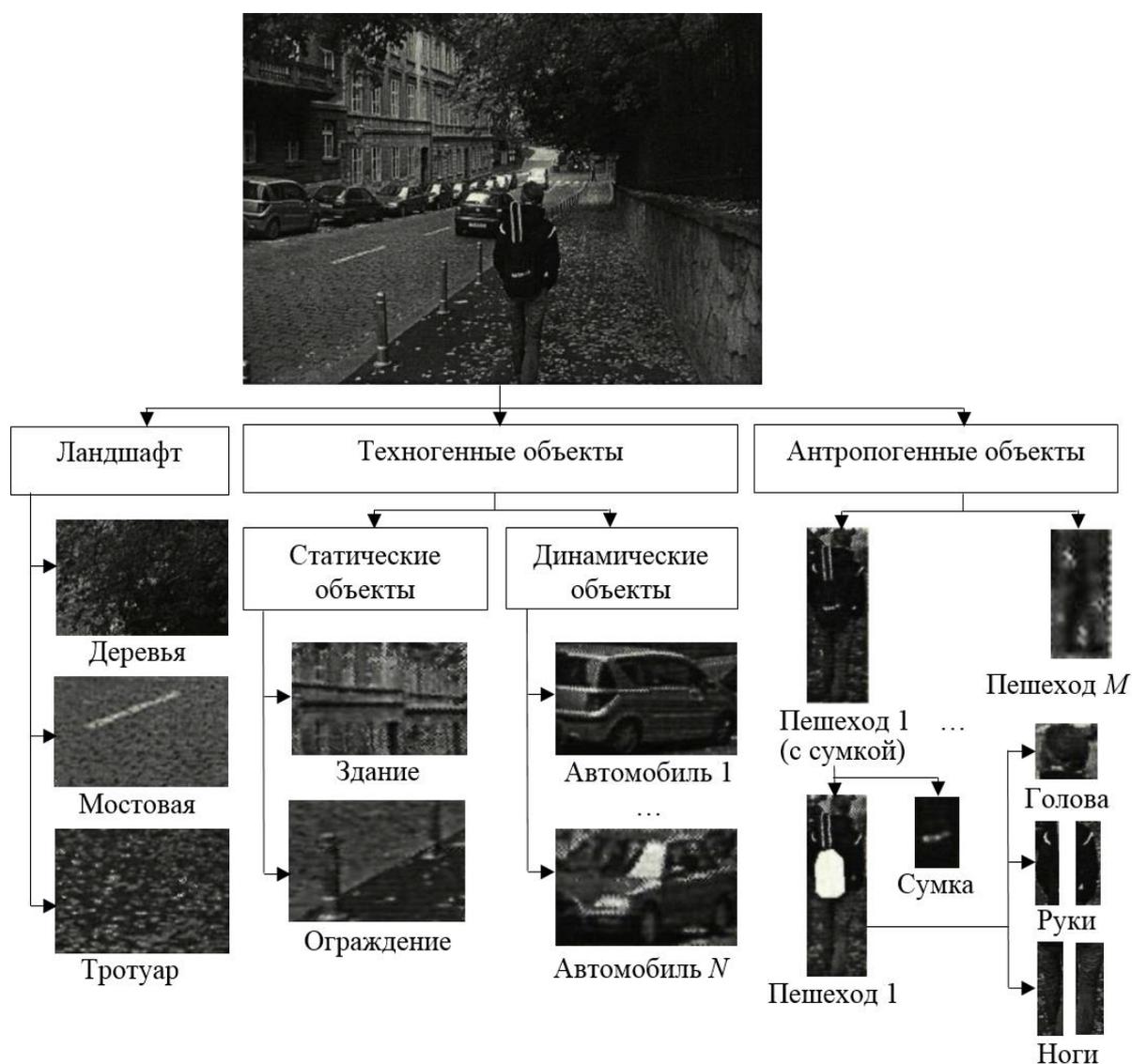


Рис. 2. Пример семантического разбора сложной сцены
Fig. 2. An example of semantic analysis of a complex scene

Создание семантических описаний участников ДТП представляет собой сложную задачу, обусловленную необходимостью интеграции низкоуровневых и среднеуровневых признаков. Эти

признаки не всегда оптимизированы для последующего семантического моделирования всей сцены ДТП. Существующие подходы опираются на упрощенные структуры сцены, где элементы могут быть представлены простейшими трехмерными геометрическими примитивами [6]. В данном контексте признаки представляют собой базовые характеристики. Определенную сложность представляет процесс идентификации признаков движения.

Сегментация сцены представляет собой высокоэффективный процесс, результатом которого является создание видеографа, где вершины содержат мультимодальный контент, включающий как видео-, так и аудиоданные, а связи классифицируются на основе пространственных и временных отношений между объектами. В связи с этим, семантические модели, предназначенные для представления видео- и аудиопоследовательностей, должны обладать способностью поддерживать два ключевых типа событий: статические и динамические, которые характеризуют эволюцию сцены.

3. Определение источников дополнительной мультимодальной информации, запрос и получение информации, обработка информации

Дополнительная мультимодальная информация в процессе автоматического разбора ДТП может понадобиться для получения более достоверных результатов разбора, учитывающих все возможные факторы и причины его совершения (предыстория ДТП), а также уточнения особенностей, не выявленных на основе мультимодальной информации с места ДТП. В качестве источников дополнительной мультимодальной информации, получаемой от ПрМ в процессе автоматического разбора ДТП, могут являться телефонные звонки участников и/или свидетелей ДТП на номер 112 и их последующие объяснительные, написанные сотрудникам группы разбора [7]. Для эффективного использования данных акустической и текстуальной модальностей необходимо их распознавание с высокой степенью достоверности, проведение семантического разбора для выделения важных составляющих, необходимых для интерпретации ДТП, синхронизация их по времени и пространству с другими модальностями для последующего объединения при принятии решения.

Для выявления дополнительной информации о факторах и причинах, способствовавших (или спровоцировавших) совершение ДТП, необходима визуальная и акустическая информация с ПрМ, не входящих в зону ДТП и находящихся по пути следования автомобилей – участников ДТП от момента времени начала их движения (по возможности) до момента начала их нахождения в зоне ДТП. Для этого данные о государственных регистрационных номерах передаются всем элементам системы (в первую очередь «Безопасный город») для распознавания указанных автомобилей и передачи видеопоследовательностей с их участием в систему автоматического разбора. Для адекватного определения причинно-следственных связей при этом необходима четкая синхронизация событий по времени, а для повышения достоверности принимаемых решений целесообразно подтверждение факта нахождения конкретного автомобиля в данный момент времени в данной точке пространства по его геопозиции, установленной с помощью приемников навигационных сигналов.

Оперативность передачи мультимодальной информации можно значительно повысить, если использовать процедуры «прогнозирования ДТП», описанные в начале статьи. В данном случае видеопоследовательности с участником ДТП, а также государственные регистрационные номера автомобилей – свидетелей опасного (нестандартного) действия – уже находятся в базе системы и могут быть оперативно представлены для разбора. Требуется лишь осуществить запрос визуальной и акустической информации с видеорегистраторов свидетелей и при ее получении группой разбора распознать и использовать видеопоследовательности для разбора ДТП.

Интерпретация понятия «событие» в контексте анализа ДТП существенно варьируется в зависимости от уровня обработки видеопоследовательности. На уровне предварительной обработки изображений осуществляется общее улучшение их характеристик (при этом за событие принимается присутствие смещений в регионах изображения). На втором уровне непосредственно вводится понятие «событие движения», основанное на данных предварительного уровня (например, фиксация телодвижений пешехода, проезд автомобилем перекрестка и другие динамические изменения в сцене). Третий уровень включает непосредственно интерпретацию сцены, при этом

события движения, накопленные в предыстории, позволяют классифицировать их по типам движений и интерпретировать на понятийном уровне. Это обеспечивает более глубокое понимание динамики сцены и ее семантического содержания, что является критически важным для анализа сложных событий, таких как ДТП (рис. 3).

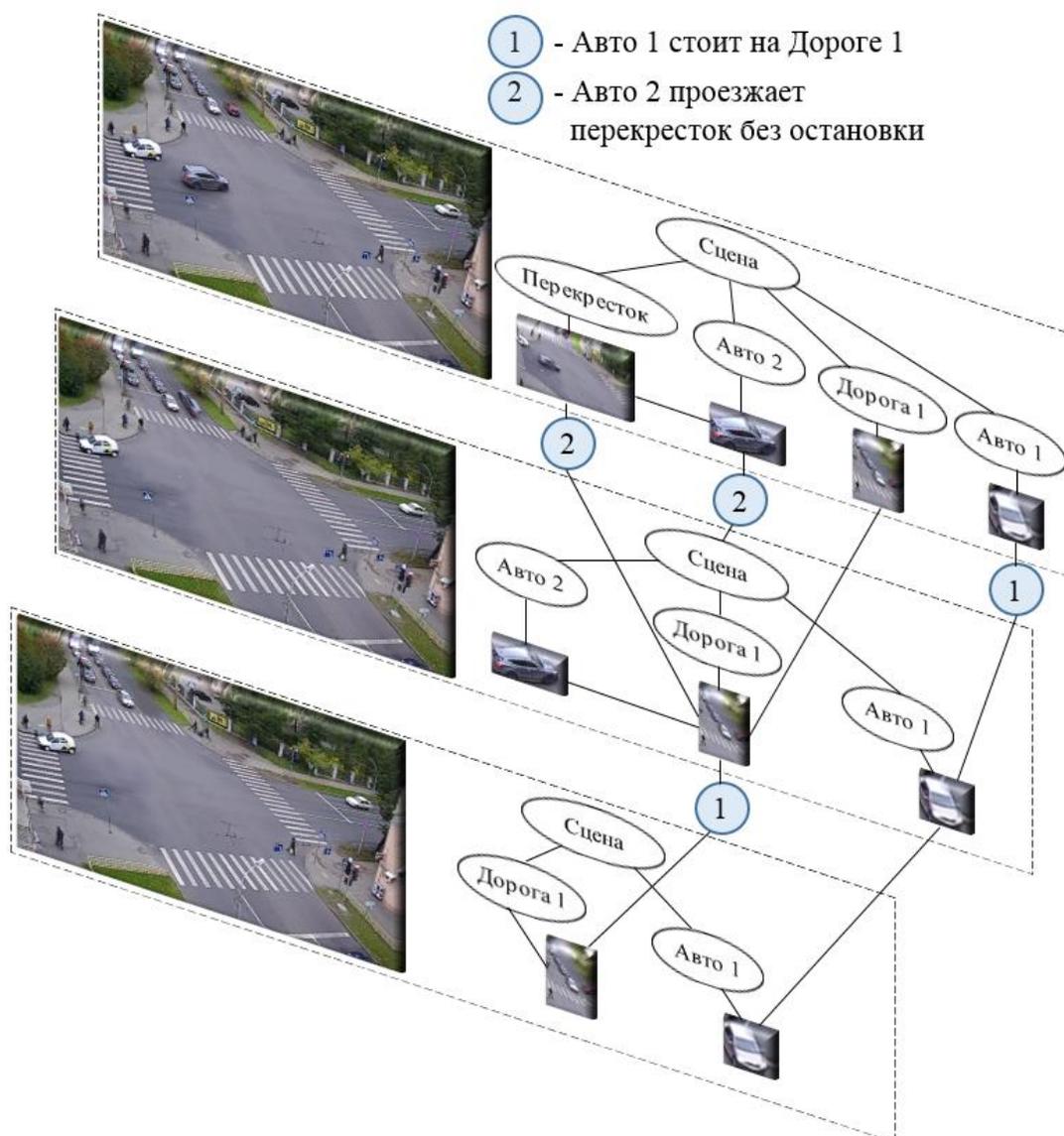


Рис. 3. Пример построения видеографа сложной динамической сцены
Fig. 3. An example of building a video grapher of a complex dynamic scene

Эффективность анализа сцен с применением предложенного метода построения видеографа в значительной степени определяется качеством локальных признаков, выявленных на этапе формирования локальных пространственных структур движения. Эти локальные признаки движения представляют собой более сложные информационные единицы по сравнению с традиционными статистическими характеристиками цветности, текстуры и геометрическими параметрами локальных областей изображений. Их использование позволяет более точно моделировать динамические процессы в сценах, учитывая нелинейные и многофакторные аспекты движения. В отличие от статистических подходов, которые часто основаны на упрощенных моделях и могут не учитывать сложные взаимодействия между элементами сцены, локальные признаки движения предоставляют более детализированную информацию о пространственно-временных характеристиках изменений в изображении. Это делает их особенно ценными для задач, требующих

высокой степени точности и чувствительности к изменениям в динамике сцены, таких как распознавание действий, анализ поведения и отслеживание объектов.

В контексте системы мониторинга дорожной обстановки, структура динамического видеографа, представляющего сложную сцену, эффективно сохраняется и индексируется для обеспечения принятия высокоуровневых решений в чрезвычайных ситуациях. Обновления видеографа происходят в режиме реального времени, отражая возникновение и исчезновение объектов наблюдения. Динамический видеограф служит основополагающим элементом для анализа ситуации и формирования обоснованных решений, что критически важно для оперативного реагирования на инциденты.

Технология распознавания динамических объектов значительно расширяет возможности интерпретации статических данных, применяя морфизмы для описания изменений проекций движущихся объектов в серии последовательных моментов времени относительно эталонных признаков. Это позволяет учитывать не только динамику объектов, но и их взаимодействие в пространственно-временном континууме.

Наблюдение за динамическими объектами открывает возможность использования множественных проекций для распознавания, которые формируют предысторию объекта при условии их принадлежности к одной и той же физической сущности. В таких случаях целесообразно применять модифицированные коллективные методы анализа и принятия решений, обеспечивающие повышенную точность и надежность результатов. Эти методы позволяют интегрировать данные из различных проекций, что способствует более полному и всестороннему пониманию ситуации.

4. Синхронизация и объединение входных модальностей от всех источников

В процессе интеграции различных сенсорных модальностей особое значение приобретает анализ корреляционных взаимосвязей между ними, который может быть реализован на различных уровнях интеграции с применением соответствующих аналитических методов. В рамках стратегии ранней интеграции, основанной на вычислении коэффициента корреляции Пирсона, были успешно решены задачи классификации видеокадров, распознавания речевой информации, отслеживания динамических объектов, идентификации источников звука и стохастического кодирования мультимедийных данных. В свою очередь, стратегия поздней интеграции, основанная на применении коэффициента конкордации Кендалла и анализе причинно-следственных связей, позволила эффективно решать задачи распознавания событий на основе наблюдательных данных, обеспечивая высокую точность и надежность результатов [8].

В процессе анализа мультимодальных данных ключевым аспектом является не только выявление корреляционных связей между отдельными сенсорными каналами, но и оценка их независимости, что в ряде случаев позволяет принимать более обоснованные и взвешенные решения. Сигналы, поступающие с различных сенсоров, как правило, регистрируются в разнообразных форматах и с различной частотой дискретизации, что обуславливает необходимость их синхронизации.

Синхронизация на уровне признаков заключается в интеграции данных, полученных в течение заданного временного интервала из разнородных, но коррелированных каналов. Это позволяет обеспечить согласованность анализа и интерпретации данных. В свою очередь, синхронизация на уровне принятия решений требует установления временных меток для интеграции выработанных решений. Таким образом, проблема синхронизации проявляется на различных уровнях интеграции данных из разнородных каналов. Для автоматизации анализа ДТП с использованием мультимодальных данных целесообразно применять методы объединения, основанные на классификации, и включающие соответствующие технологии для соотнесения наблюдаемой мультимодальной информации с заранее определенными классами.

Метод опорных векторов (*SVM*) при поздней интеграции данных из текстового, акустического и визуального каналов представляет собой эффективный инструмент для определения семантики сообщений, особенно в контексте объяснительных и телефонных звонков участников ДТП. Применение *SVM* для интеграции текстовой и визуальной информации позволяет осуществлять биометрическую аутентификацию участников события. Использование данного метода при

гибридной интеграции акустического и визуального каналов, включая такие параметры, как цвет, размер, яркость и контраст, позволяет системе анализировать мультимедийные данные, классифицировать изображения и выполнять семантическую индексацию видео на основе текстовой и визуальной информации [9].

Байесовский вывод является фундаментальным инструментом в области распознавания речи, особенно при использовании методов раннего и позднего комбинирования аудио- и визуальных признаков. Гибридные подходы, интегрирующие текстовые, акустические и визуальные каналы коммуникации, также находят широкое применение. В процессе наблюдения данные, поступающие из акустического канала (например, коэффициенты линейного предсказания) и визуального канала (такие как местоположение и площадь объектов), подвергаются комплексному анализу и интеграции для последующего распознавания событий. Этот процесс требует тщательного моделирования вероятностных распределений и применения алгоритмов оптимизации для достижения высокой точности и надежности распознавания [10].

Применение теории Демпстера–Шафера в контексте раннего и гибридного слияния визуальных характеристик обеспечивает высокоэффективную сегментацию изображений. В условиях позднего объединения данных из акустического и визуального каналов коммуникации становится возможным выполнение классификации видеоконтента, что, в свою очередь, способствует развитию систем человеко-машинного взаимодействия [11].

Динамические байесовские сети представляют собой мощный инструмент для интеграции акустических и визуальных данных в задачах классификации кадров видео, автоматического распознавания речи, биометрической аутентификации участников событий и мониторинга объектов интереса. При использовании на поздних этапах обработки визуальных данных и параметров сенсоров (камер) динамические байесовские сети обеспечивают аннотирование фотографий и отслеживание лиц на изображениях. В случае гибридного объединения информации из текстового, акустического и визуального каналов коммуникации, данные сети позволяют классифицировать видеоматериалы по тематическим категориям [12].

Интеграция данных акустического и визуального каналов коммуникации посредством мультимодальных нейронных сетей открывает новые перспективы в точной локализации источников звука и мониторинге объектов интереса, таких как транспортные средства и пешеходные потоки. Гибридные методы объединения визуальной информации, основанные на применении глубоких нейронных сетей, демонстрируют высокую эффективность в задачах компьютерного зрения, включая распознавание дорожных инцидентов и автоматизированное управление транспортными системами. Эти технологии находят применение в разработке интеллектуальных систем безопасности, улучшении транспортной инфраструктуры и оптимизации процессов экстренного реагирования [13].

Методы интеграции данных, основанные на количественных оценках, играют ключевую роль в мониторинге положения подвижных объектов, включая автомобили и пешеходов, с использованием мультимодальной информации. В частности, применение фильтра Калмана и его модификаций, а также фракционного фильтра, основанного на раннем и позднем объединении акустических и визуальных данных, демонстрирует высокую эффективность в решении задач определения местоположения, отслеживания траекторий движения транспортных средств и пешеходов, а также локализации источников звука, таких как визг тормозов или шум столкновения [14].

5. Интерпретация ДТП и принятие решения по результатам разбора

Общую схему интерпретации ДТП можно представить в следующем виде. Входной информацией являются мультимодальные данные, поступающие в систему от различных источников в различные временные интервалы: изображения и видеопоследовательности (включая звуковую дорожку), мета-данные текстового и речевого описания событий, связанных с ДТП, а также навигационные данные. Полученный ансамбль мультимодальных данных, принятый от разнородных источников, должен быть синхронизирован по времени и пространству и объединен в соответствии с оптимальной стратегией и методом объединения. Для корректной интерпретации

ДТП необходимо интегрировать базы данных слов и фраз, видеоконтент, онтологические модели, контекстную грамматику, а также словари визуальных и акустических паттернов. Эти ресурсы должны поддерживать динамическую систему обновлений и взаимодействовать с географическими информационными системами (ГИС). Анализ мультимодальных данных предполагает комплексное прохождение всех этапов обработки и распознавания, осуществляемое либо автоматически при использовании простых модальностей и высоко обученной системы распознавания, либо интерактивно с участием эксперта по базам данных и знаниям.

Таким образом, на выходе системы должно быть сгенерировано, например, текстовое описание результатов анализа входной мультимодальной информации, используемой в дальнейшем для поддержки принятия решения. Конечный пользователь сможет не только интерпретировать текстовые описания сцен и событий, но и формировать контентные запросы [15]. При этом интерпретация событий ДТП должна учитывать контекст, задаваемый пространственными отношениями объектов (например, «перекресток») или конкретными задачами (например, «обнаружение столкновения транспортных средств»), и включать распознавание множества активных действий. Применение при решении задач интерпретации ДТП моделей глубокого обучения, обеспечивающих комплексное восприятие и контекстное понимание сцены и позволяющих не только определять геометрические характеристики окружающих объектов, но и их семантическое значение, а также разработка программного обеспечения для анализа данных с ПрМ обеспечит интеллектуальную поддержку принятия решений в системах мониторинга дорожной ситуации [16].

ВЫВОДЫ

ДТП как правило является результатом сложной совокупности обстоятельств, формирующих причинно-следственные связи. Установление истинных причин нарушения правил безопасности, приведших к аварии, и факторов, способствовавших их возникновению, является ключевой задачей при расследовании правонарушений и неотъемлемой частью обеспечения безопасности дорожного движения и эксплуатации транспорта.

Полученные в работе результаты свидетельствуют о перспективности выбранного подхода к решению задачи автоматического разбора ДТП на основе мультимодального анализа данных с использованием технологий искусственного интеллекта. Однако отсутствие научно-методического аппарата в данной области требует его разработки и адаптации под конкретные практические задачи.

В качестве направлений дальнейшего исследования, обеспечивающих повышение полноты и достоверности принятия решения при автоматическом разборе ДТП, рассматриваются:

- 1) нахождение способов эффективной формализации различных модальностей (изображений, видеопоследовательностей, аудио- и текстовой информации) в соответствии с поставленными целевыми управляющими воздействиями;
- 2) комбинирование подхода к интерпретации сцен и событий на основе классических методов и технологий искусственного интеллекта;
- 3) разработка научно-методического аппарата для построения автоматической системы разбора ДТП.

Список литературы

1. Горюшинский В.С., Бичахчян А.В., Шацких Е.В. Общие принципы и особенности расследования ДТП // Вестник современных исследований. – № 12.1 (27), 2018. – С. 106-111.
2. Пинчук Л.В. Некоторые тактические аспекты детального осмотра места ДТП // Вестник Рязанского филиала Московского университета МВД России. – № 11, 2017. – С. 55-62.
3. Atrey P.K., Hossain M.A., Kankanhalli M.S. Multimodal Fusion for Multimedia Analysis: a Survey. *Multimedia Systems*. – № 16 (6), 2010. – P. 345-379.
4. Муленков Д.В. Горшков М.М. Фиксация факта, хода, содержания и результатов осмотра места происшествия // Законодательство и практика. – № 2 (31), 2013. – С. 10-13.

5. Фаворская М.Н., Шилов А.С. Алгоритмы реализации оценки движения в системах видеонаблюдения // Системы управления и информационные технологии. Перспективные исследования. – № 3.3 (33), 2008. – С. 408-112.
6. Фаворская М.Н. Сегментация визуальных движущихся объектов с применением групповых преобразований // В материалах XII междунар. симпозиума по непараметрическим методам в кибернетике и системному анализу, Красноярск. – 2010. – С. 156-159.
7. Фролов В.В. Организация выявления свидетелей и их допрос при расследовании ДТП // Гуманитарные, социально-экономические общественные науки. – № 8-9, 2017. – С. 261-264.
8. Басов О.О., Карпов А.А. Анализ стратегий и методов объединения мультимодальной информации // Информационно-управляющие системы. – №2, 2015. – С. 7-14.
9. Bredin H., Chollet G. Audio-visual Speech Synchrony Measure for Talking-Face Identity Verification // Proc. IEEE Intern. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, Paris, France. – № 2, 2007. – P. 233-236.
10. Chetty G., Wagner M. Audio-visual Multimodal Fusion for Biometric Person Authentication and Liveness Verification // Proc. NICTA-HCSNet Multimodal User Interaction Workshop, Sydney, Australia. – 2006. – P. 17-24.
11. Singh R., Vatsa M., Noore A., Singh S.K. Dempster-Shafer Theory Based Finger Print Classifier Fusion with Update Rule to Minimize Training Time // IEICE Electronics Express. – № 3 (20), 2006. – P. 429-435.
12. Nefian A.V., et al. Dynamic Bayesian Networks for Audio-visual Speech Recognition // EURASIP Journal on Applied Signal Processing. – № 11, 2002. – P. 1-15.
13. Ni J., Ma X., Xu L., Wang J. An Image Recognition Method Based on Multiple BP Neural Networks Fusion // Proc. IEEE Intern. Conf. on Information Acquisition. – 2007. – P. 429-435.
14. Gehrig T., et al. Kalman Filters for Audio-video Source Localization // Proc. IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, Germany. – 2005. – P. 118-121.
15. Макарова Е.А., Лагерев Д.Г. Модель обработки слабоструктурированных текстовых данных на русском языке для интеллектуальной поддержки информационного управления в динамических организационных системах // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – № 3, 2022. – С. 104-125.
16. Офицеров А.И., Сафонов Д.А. Использование искусственного интеллекта в системах обеспечения комплексной безопасности охраняемого объекта // Экономика. Информатика. – № 50 (1), 2023. – С. 203-210.

References

1. Goryushinsky V.S., Bichakhchyan A.V., Shatskikh E.V. General principles and features of accident investigation // Bulletin of Modern Research. – № 12.1 (27), 2018. – P. 106-111.
2. Pinchuk L.V. Some tactical aspects of a detailed inspection of the accident site // Bulletin of the Ryazan Branch of the Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of Russia. – № 11, 2017. – P. 55-62.
3. Atrey P.K., Hossain M.A., Kankanhalli M.S. Multimodal Fusion for Multimedia Analysis: a Survey. Multimedia Systems. – № 16 (6), 2010. – P. 345-379.
4. Mulenkov D.V. Gorshkov M.M. Recording the fact, course, content and results of the inspection of the scene // Legislation and practice. – № 2 (31), 2013. – P. 10-13.
5. Favorskaya M.N., Shilov A.S. Algorithms for the implementation of motion assessment in video surveillance systems // Management systems and information technologies. Promising research. – № 3.3 (33), 2008. – P. 408-112
6. Favorskaya M.N. Segmentation of visual moving objects using three transformations // In the proceedings of the XII International Symposium on Nonparametric Methods in Cybernetics and Systems Analysis, Krasnoyarsk. – 2010. – P. 156-159.
7. Frolov V.V. Organization of the identification of witnesses and their interrogation during the investigation of an accident // Humanities, socio-economic social sciences. – № 8-9, 2017 – P. 261-264.
8. Basov O.O., Karpov A.A. Analysis of strategies and methods of combining multimodal information // Information management systems. – № 2, 2015. – P. 7-14.
9. Bredin H., Chollet G. Audio-visual Speech Synchrony Measure for Talking-Face Identity Verification // Proc. IEEE Intern. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, Paris, France. – № 2, 2007. – P. 233-236.
10. Chetty G., Wagner M. Audio-visual Multimodal Fusion for Biometric Person Authentication and Liveness Verification // Proc. NICTA-HCSNet Multimodal User Interaction Workshop, Sydney, Australia. – 2006. – P. 17-24.

11. Singh R., Vatsa M., Noore A., Singh S. K. Dempster–Shafer Theory Based Finger Print Classifier Fusion with Update Rule to Minimize Training Time // IEICE Electronics Express. – № 3 (20), 2006. – P. 429-435.
12. Nefian A.V., et al. Dynamic Bayesian Networks for Audio-visual Speech Recognition // EURASIP Journal on Applied Signal Processing. – № 11, 2002. – P. 1-15.
13. Ni J., Ma X., Xu L., Wang J. An Image Recognition Method Based on Multiple BP Neural Networks Fusion // Proc. IEEE Intern. Conf. on Information Acquisition. – 2007. – P. 429-435.
14. Gehrig T., et al. Kalman Filters for Audio-video Source Localization //Proc. IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, Germany. – 2005. – P. 118-121.
15. Makarova E.A., Lagerev D.G. Model for processing weakly structured text data in Russian for intelligent support of information management in dynamic organizational systems // Models, systems, networks in economics, technology, nature and society. – № 3, 2022. – P. 104-125.
16. Ofitserov A.I., Safonov D.A. 2023. The Use of Artificial Intelligence in Systems for Ensuring the Integrated Security of a Protected Object // Economy. Informatics. – № 50 (1), 2023. – P. 203-210.

Басов Олег Олегович, доктор технических наук, доцент, руководитель центра искусственного интеллекта, Акционерное общество «АСТ», г. Москва, Россия

Офицеров Александр Иванович, кандидат технических наук, сотрудник, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации, г. Орёл, Россия

Basov Oleg Olegovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Artificial Intelligence Center, Joint Stock Company «AST», Moscow, 123242, Russia

Ofitserov Alexandr Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation, Orel, Russia

УДК 004.045

DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-8

**Криницин П.Г.
Ченцов С.В.****ДИАГНОСТИКА КОНВЕЙЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ**Сибирский федеральный университет,
ул. Академика Киренского, 26 к.1, г. Красноярск, 660074, Россия*e-mail: alfa_reklama@mail.ru, schentsov@sfu-kras.ru***Аннотация**

В условиях повсеместного внедрения интеллектуальных систем мониторинга и диагностики, компьютерное зрение становится одним из передовых инструментов, позволяющим эффективно решать задачи оптимизации обслуживания и повышения надежности промышленного оборудования. В данной статье рассматриваются основные методы и подходы использования компьютерного зрения для оценки технического состояния конвейерного оборудования, анализируются преимущества и недостатки существующих систем диагностики, а также предлагаются возможные направления для проведения дальнейших исследований.

От работоспособности ленточных конвейеров зависит функционирование всего производственного процесса. Транспортёры обеспечивают непрерывность подачи сырья на очередной производственный участок, тем самым перемещая сырьё на следующие этапы обработки или склад готовой продукции. Большая часть транспортной конвейерной ленты в металлургической промышленности представлена конвейерами с резиновой транспортной лентой. Срок службы ленты конвейера в среднем составляет один-два года. Ходимость ленты зависит от времени реагирования ремонтной службы на развитие повреждения ее поверхности. Учитывая высокую частоту отказов конвейерного оборудования для транспортировки и переработки нефтяного кокса, повышение надёжности транспортной ленты — приоритетная и особо актуальная задача на производстве.

Рассматриваемые в статье методы, основанные на алгоритмах компьютерного зрения, решают задачи классификации, детекции и сегментации различных дефектов транспортной ленты.

Ключевые слова: компьютерное зрение; диагностика; нейросетевые алгоритмы; детекция; классификация; сегментация; конвейер; транспортная лента

Для цитирования: Криницин П.Г., Ченцов С.В. Диагностика конвейерного оборудования с применением нейросетевых алгоритмов // Научный результат. Информационные технологии. – Т. 10, №2, 2025. – С. 84-92. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-8

**Krinitsin P.G.
Chentsov S.V.****DIAGNOSIS OF CONVEYOR EQUIPMENT USING NEURAL
NETWORK ALGORITHMS**Siberian Federal University,
26 building 1 Akademika Kirenskogo St., Krasnoyarsk, 660074, Russia*e-mail: alfa_reklama@mail.ru, schentsov@sfu-kras.ru***Abstract**

In the context of the widespread implementation of intelligent monitoring and diagnostic systems, computer vision becomes one of the leading tools, enabling effective solutions for optimizing maintenance and enhancing the reliability of industrial equipment. This article explores the main methods and approaches for using computer vision to assess the technical condition of conveyor equipment, analyzes the advantages and disadvantages of existing diagnostic systems, and suggests possible directions for further research.

The operation of belt conveyors determines the functioning of the entire production process. Conveyors ensure the continuous supply of raw materials to the next production stage, thus moving materials to subsequent processing stages or the finished product warehouse. Most conveyor equipment in the metallurgy industry features conveyors with rubber belts. The average lifespan of

a conveyor belt is one to two years. The durability of the belt depends on the response time of the maintenance team to emerging surface damage. Considering the high failure rate of conveyor equipment for the transportation and processing of petroleum coke, enhancing the reliability of the conveyor belt is a priority and especially pertinent task in production.

The methods discussed in the article, based on computer vision algorithms, address the challenges of classification, detection, and segmentation of various conveyor belt defects.

Keywords: computer vision; diagnostics; neural network algorithms; detection; classification; segmentation; conveyor; conveyor belt

For citation: Krinitsin P.G., Chentsov S.V. Diagnosis of conveyor equipment using neural network algorithms // Research result. Information technologies. – Т.10, №2, 2025. – P. 84-92. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-2-0-8

ВВЕДЕНИЕ

Конвейерные системы являются неотъемлемой частью современных производственных процессов, обеспечивая непрерывность и способность производственной системы адаптироваться к изменениям в спросе на продукцию, увеличивая или уменьшая объемы выпуска, при сохранении эффективности и экономической целесообразности масштабируемость производства [1]. Для поддержания высокой эффективности работы оборудования необходимо обеспечить своевременное выявление и устранение неисправностей. Традиционные методы диагностики часто требуют остановки производства и участия специалистов, что снижает общую производительность технологического процесса. Как следствие, растет интерес к внедрению автоматизированных систем на основе технологии компьютерного зрения, которые способны непрерывно мониторить состояние оборудования и детектировать аномалии в реальном времени [2, 3]. Известны разработки моделей для классификации материалов на конвейерной ленте [4], идентификации посторонних предметов на ней [5]. Основные проблемы, возникающие при эксплуатации конвейеров с резиновой транспортной лентой:

- 1) износ ленты — со временем лента истирается о транспортируемые материалы, что приводит к образованию сквозного износа и деформациям;
- 2) разрывы ленты в результате воздействия на нее посторонних не дробимых предметов, механически повреждающих ленту, в результате чего образуются сквозные дефекты [6];
- 3) нарушения целостности поверхностного — резинового слоя ленты в результате воздействия экстремальных температур, связанного с транспортировкой недостаточно охлажденного сырья, например нефтяного кокса после прокалочной печи и холодильного барабана с образованием трещин рабочей поверхности.

В последнее время проблема сокращения срока службы оборудования становится все более актуальной, что связано с тенденцией к увеличению производительности, нарушением проектных рекомендаций. Фракционный и химический состав сырья тоже оказывают свое влияние на деструктивные процессы повреждения ленты. При перемещении «сырого» нефтяного кокса в зимний период времени на транспортную ленту воздействуют химические реагенты, которые предназначены для снижения смерзания сырья в вагонах и облегчения его разгрузки [7]. Применение специализированной маслостойкой транспортной ленты, положительно сказывается на ходимости ленты, но постепенно её рабочая поверхность размягчается, теряет эластичные свойства и деформируется. Наличие большого разнообразия факторов, влияющих на срок службы ленты не позволяет установить нормативный срок ее эксплуатации для всего конвейерного парка: он сильно варьируется для аналогичного оборудования даже в пределах одного цеха.

Классическая структура диагностики оборудования промышленного предприятия представлена специалистами сервисной службы, выполняющими по установленному графику визуальную диагностику технического состояния лент конвейеров в процессе эксплуатации. Но у этой процедуры имеются недостатки. Во время осмотра лента обычно находится под слоем материала, а при большом количестве оборудования невозможно одновременно остановить все транспортировочные системы. Проблема человеческого фактора тоже имеет большое значение:

каждый пропущенный специалистом дефект может остановить конвейер и всю производственную линию, что приведёт к крайне негативным последствиям [8].

Повреждения ленты и вызванные ими остановки конвейеров могут быть различными с точки зрения их влияния на весь технологический процесс предприятия: в одном случае они требуют немедленного устранения, в другом позволяют запланировать и выполнить ремонт в прогнозируемые сроки. Поэтому важно использовать дифференцированный подход к обслуживанию оборудования, который учитывает особенности эксплуатации и степень влияния конкретного конвейера на производственный цикл. В статье рассмотрено решение проблемы отказов с помощью внедрения автоматизированной системы диагностики ленты в процесс эксплуатации конвейеров. Ожидается, что такая система будет лишена вышеуказанных недостатков классической диагностики, что позволит значительно повысить точность и оперативность обнаружения дефектов, обеспечив стабильную и безопасную работу производственных линий.

КЛАССИФИКАТОР ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕНТЫ

Классификация изображений — это задача, связанная с автоматическим присвоением метки или категории изображению на основе его содержимого [9]. Изображение, представленное в виде матрицы пикселей, обрабатывается алгоритмом машинного обучения, который определяет, к какой из заранее определённых классов оно принадлежит. С целью создания обучающего набора данных с образцами дефектов транспортерных лент произведена обработка видеопотока с камеры со скоростью записи 250 кадров в секунду. Полученные изображения были классифицированы в зависимости от доминирующего дефекта на ленте. Если на ленте были разрывы и трещины, то изображению присваивался класс «Разрыв ленты» — как наиболее важный с точки зрения дальнейшей безотказной работы оборудования.

Для повышения универсальности в работе модели, выполнена аугментация изображений на обучающей выборке, рисунок 1 [10].

С целью реализации алгоритма классификации импортирована из пакета Torchvision библиотеки PyTorch [11] предварительно обученная модель ResNet-18. Операция двумерной свертки заключается в суммировании признаков по всем трем каналам: C, H, W:

$$y[m, n] = \sum_{k=1}^C \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W x_k[m + i, n + j] * w_k[i, j] + b; \quad (1)$$

где $y[m, n]$ – выходное значение тензора в позиции (m, n),

x_k – k-й канал входного тензора с точкой $[m + i, n + j]$,

w_k – элемент фильтра, применяемого к k-му каналу с координатами $[i, j]$,

b – смещение (константа).

С целью исключения изменения предварительно обученных весов и не выполнения операций повторного вычисления градиентов слоев модели ResNet замораживаются все слои модели с заменой полносвязного слоя новым — с четырьмя целевыми, выходными классами.

В качестве функции потерь используется CrossEntropyLoss() для мультиклассовой классификации и оптимизатор Adam. После обучения модели-классификатора на 20 эпохах, получено значение ошибки Loss — 7%.

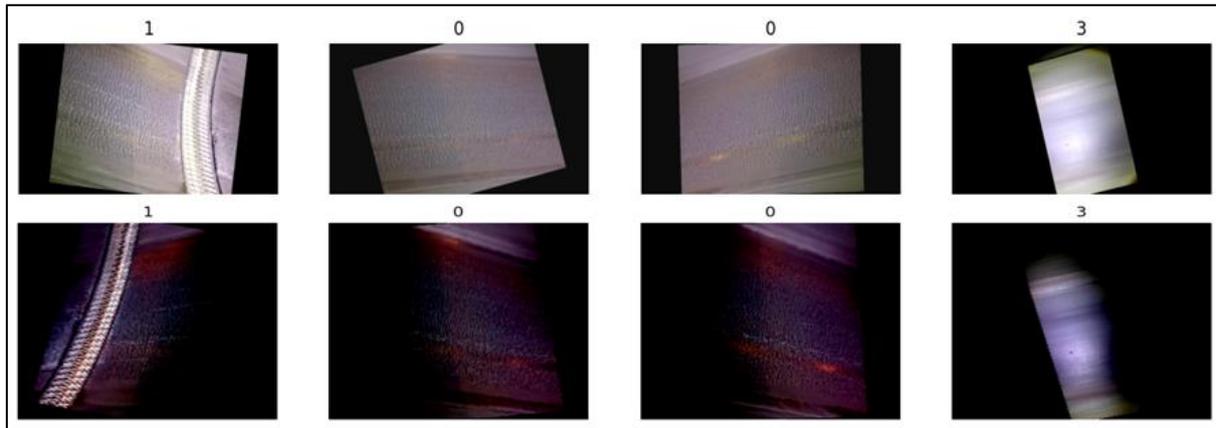


Рис. 1. Результаты выполненной аугментации изображений
Fig. 1. Results of image augmentation

Для тестирования обученной модели загружены изображения из тренировочной выборки. Результат предсказания модели – классификатора представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Результат работы модели - «Лента с поврежденным краем»
Fig. 2. Model output - "Belt with damaged edge"

Классификатор можно использовать для определения наличия или отсутствия дефектов на ленте, с целью дальнейшего принятия решения о необходимости визуальной диагностики оборудования с привлечением специалистов сервисной организации. Такой алгоритм работы целесообразно применять для диагностирования большей части конвейерного оборудования, т.к. он прост в реализации и успешно решает задачи контроля его исправного состояния.

ДЕТЕКТОР ДЕФЕКТОВ ТРАНСПОРТЕРНОЙ ЛЕНТЫ

Детекция объектов – это задача компьютерного зрения, направленная на идентификацию и локализацию объектов разных классов на изображении. В отличие от задачи классификации изображений, которая определяет только класс объекта, обнаружение объектов также определяет его местоположение на изображении, выделяя границы или ограничивающие рамки вокруг него [12]. Чтобы обучить модель-детектор, был набор изображений с дефектами транспортной ленты был предварительно размечен в программе CVAT [13]. Классы распознаваемых дефектов — трещины, порывы ленты, состояние стыка ленты.



Рис. 3. Разметка изображения в формате xml и результаты распознавания
Fig. 3. Image annotation in XML format and recognition results

В программе каждому изображению присвоен свой уникальный ID-номер, название дефекта и его координаты. Для одного изображения может быть несколько отметок о дефектах. С помощью методов Python на основе xml – разметки создан датафрейм, содержащий подробную информацию о каждом объекте на изображении: имя файла, размер изображения, метка класса и координаты точек полигональной линии.

В качестве базовой модели для ее последующего обучения выбрана сверточная нейронная сеть FastRCNN, оптимизатор – стохастический градиентный спуск [14]:

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \eta \nabla J(\theta_t; x^{(i)}, y^{(i)}); \quad (2)$$

где θ_t – вектор параметров на итерации t ,

η – скорость обучения (learning rate),

$\nabla J(\theta_t; x^{(i)}, y^{(i)})$ – градиент функции потерь J по параметрам θ для случайной выборки $(x^{(i)}, y^{(i)})$.

Обученная модель распознает объекты на изображениях из тренировочной выборки с выделением границ объектов из целевого класса и вероятностью их обнаружения, рисунок 3.

Модель-детектор расширяет возможности диагностики транспортной ленты, позволяя не только выявлять неисправности, но и оценивать их расположение. Применение данной модели оправдано для оборудования, установленного в местах с затрудненным для сервисного обслуживания расположением – стесненные условия, недостаточная высота потолков и прочие. Что позволяет полностью исключить проведение диагностики специалистами сервисной службы.

СЕГМЕНТАЦИЯ ДЕФЕКТОВ

Сегментация изображений – это задача компьютерного зрения, направленная на разделение изображения на несколько сегментов или областей, каждая из которых соответствует различным

объектам или их частям. Она позволяет точно определить контуры объектов, создавая маски, которые выделяют каждый объект на изображении, рисунок 4 [15]. С этой целью используется модель MaskRCNN [16], отличие которой от предыдущей модели FastRCNN заключается в добавлении еще одного полносвязного слоя для предсказания маски, покрывающей весь объект на изображении, а не только ограничивающего прямоугольника, что и позволяет ей решать задачи сегментации [17]:

$$m = \text{sigmoid}(W_m \cdot f(x_i)); \quad (3)$$

где m – предсказанная маска сегментации для i -й области интереса,
 W_m – это веса для маски.

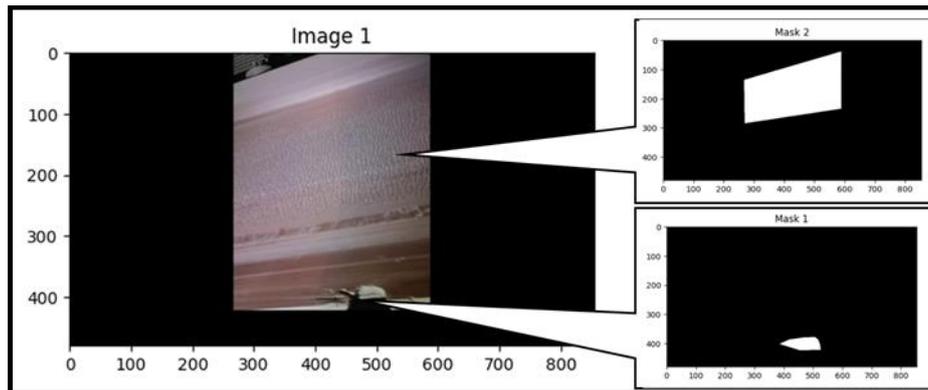


Рис. 4. Маски объектов «Трещины» и «Порыв края ленты»
Fig. 4. Masks of the objects "Cracks" and "Tape edge tear"

Результаты предсказания работы модели на тестовой выборке изображений представлены на рисунке 5.

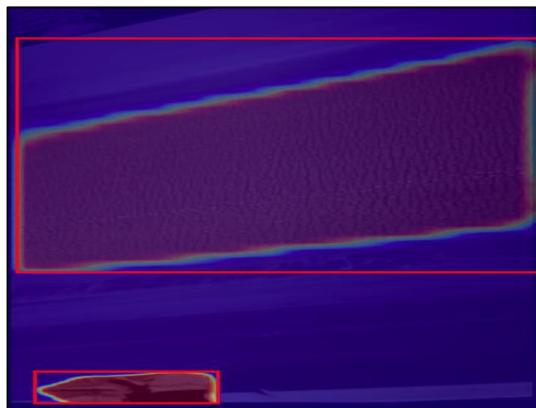


Рис. 5. Выделение дефектов ленты по контуру их расположения
Fig. 5. Highlighting tape defects along their outline

Сегментация дефектов на ленте расширяет возможности диагностики, позволяя более точно рассчитать площадь повреждения ленты и предсказать остаточный срок эксплуатации [18]. Характер расположения объектов на изображении позволяет сделать вывод о причинах возникновения дефектов и разработать корректирующие мероприятия, исключив или ослабив их влияние.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конвейерное оборудование обычно установлено и эксплуатируется в местах с повышенной запыленностью, влажностью. Что вызывает необходимость применения камер с достаточной степенью защиты от пыли и влаги. В данном исследовании использовались видеокamеры со степенью защиты IP64. После обучения алгоритма классификации на изображениях

с размеченными дефектами, модель демонстрирует высокую чувствительность по отношению к различным аномалиям ленты. Что может быть достаточным для принятия решения о проведении визуального контроля ленты специалистами по сервисному обслуживанию, с целью детального определения размера повреждения и объема последующего ремонта.

Алгоритмы детекции дефектов на ленте, обученные с помощью координат вершин ограничивающих прямоугольников, предоставляют гораздо больше информации о самом дефекте: его приблизительном размере, месте расположения, характере повреждений. Полученную таким образом информацию можно конвертировать в предсказания по сроку службы ленты, примерно оценив площади повреждения ленты, зафиксировать факт воздействия на нее высокой температуры или химических реагентов.

Сегментация объектов на ленте, позволяет получить более качественное представление о площади повреждения, и точно зафиксировать поврежденные области. Их применение целесообразно для особо ответственного оборудования, безаварийная работа которого необходима для обеспечения работоспособности всей технологической линии производства.

В дальнейшем возможно оптимизировать систему обслуживания оборудования по категориям важности для производственного процесса на основе полученной информации о работе моделей. И произвести интеграцию системы диагностического контроля в систему управления предприятием MES/ERP [19, 20].

Список литературы

1. AC-SNGAN: Multi-class data augmentation for damage detection of conveyor belt surface using improved ACGAN / G. Wang, Z. Yang, H. Sun [et al.] // Measurement. – 2024. – Vol. 224. – P. 113814.
2. Computational approaches to Explainable Artificial Intelligence: Advances in theory, applications and trends / J.M. Górriz, I. Álvarez-Illán, A. Alvarez-Marquina [et al.] // Information Fusion. – 2023. – Vol. 100. – P. 101945.
3. Иванов К.В. Преимущества компьютерного зрения / К.В. Иванов, Н.Д. Астафьев // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики: в 3 т., Красноярск, 11–15 апреля 2022 года. Том 2. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2022. – С. 401-403.
4. Vozma H.I., Yalçın H. Visual processing and classification of items on a moving conveyor: a selective perception approach Robot. Comput.-Integr. Manuf. – 2002. – Vol. 18 (2). – P. 125-133.
5. Zhang M., Shi H., Zhang Y., Yu Ya., Zhou M. Deep learning-based damage detection of mining conveyor belt // Measurement. – 2021. – Vol. 175. – P. 109-130.
6. Proactive measures to prevent conveyor belt Failures: Deep Learning-based faster foreign object detection / M. Zhang, Yu. Cao, K. Jiang [et al.] // Engineering Failure Analysis. – 2022. – Vol. 141. – P. 106-653.
7. Ляхович В.А. Пылеподавляющий и противосмерзающий состав для кокса из продуктов вторичных процессов переработки нефтяного сырья / В.А. Ляхович, Ю.А. Булавка // Наука. Технология. Производство - 2019: Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию Республики Башкортостан, Салават, 15–19 апреля 2019 года. – Салават: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2019. – С. 59-61.
8. Королева А.М. Характеристика роли человеческого фактора при анализе причин аварий на опасных производственных объектах / А.М. Королева, К.И. Дробинин, Л.Б. Хайруллина // Экономика и предпринимательство. – 2021. – № 11(136). – С. 1399-1404.
9. Кабанова В.В., Логунова О.С. Применение искусственного интеллекта при работе с мультимедийной информацией // Вестник Череповецкого государственного университета. 2022. № 6(111). С. 23–41.
10. Аугментация наборов изображений для обучения нейронных сетей при решении задач семантической сегментации / И.А. Ложкин, М.Е. Дунаев, К.С. Зайцев, А.А. Гармаш // International Journal of Open Information Technologies. – 2023. – Т. 11, № 1. – С. 109-117.
11. PyTorch: An Imperative Style, High Performance Deep Learning Library / Paszke A., Gross S., Massa F. and others. // Advances in Neural Information Processing Systems 32, Curran Associates, Inc., 2019. – P. 8024-8035.
12. Черников А.Д. Прогнозирование и распознавание объектов в видеопотоке с помощью глубокого обучения / А.Д. Черников // Вестник науки. – 2023. – Т. 2, № 9(66). – С. 209-215.

13. Обзор современных средств разметки цифровых диагностических изображений / Ю.А. Васильев, Е.Ф. Савкина, А.В. Владимирский [и др.] // Казанский медицинский журнал. – 2023. – Т. 104, № 5. – С. 750-760.
14. Нейросетевой алгоритм полнокадрового распознавания надводных объектов в реальном времени / В.А. Бондаренко В.А., Павлова В.А., Тупиков В.А., Холод Н.Г. // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2020. – № 1(211). – С. 188-199.
15. Сегментация объектов с функцией дообучения / И.Д. Ненахов, К. Артемов, С. Забихифар, А.Н. Семочкин, С.А. Колюбин // Изв. вузов. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 3. С. 194-203.
16. He K, Gkioxari G, Dollár P, Girshick R. MaskR-CNN [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/abs/1703.06870> (Дата обращения: 15.08.2024)
17. Андриянов Н.А. Обнаружение объектов на изображении: от критериев Байеса и Неймана–Пирсона к детекторам на базе нейронных сетей EfficientDet / Н.А. Андриянов, В.Е. Дементьев, А.Г. Ташлинский // Компьютерная оптика. – 2022. – Т. 46, № 1. – С. 139-159.
18. Стрельцов Д.Н. Алгоритм обнаружения объектов на видеоизображении с расчетом площадей найденных контуров / Д.Н. Стрельцов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2012. – № 11-2. – С. 116-122.
19. Tien N.T. A literature review of ERP system, challenges and opportunities of ERP implementation on organization / N.T. Tien, T.T. Tâm // TẠP CHÍ KHOA HỌC TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUỐC TẾ HỒNG BÀNG. – 2023. – Vol. 4. – P. 35-44.
20. Martell F., López J.M., Sánchez I.Yo., Paredes C.A., Pisano E. Evaluation of the degree of automation and digitalization using a diagnostic and analysis tool for a methodological implementation of Industry 4.0 / Computers & Industrial Engineering Volume 177, March 2023, 109097.

References

1. AC-SNGAN: Multi-class data augmentation for damage detection of conveyor belt surface using improved ACGAN / G. Wang, Z. Yang, H. Sun [et al.] // Measurement. – 2024. – Vol. 224. – P. 113814.
2. Computational approaches to Explainable Artificial Intelligence: Advances in theory, applications and trends / J. M. Górriz, I. Álvarez-Illán, A. Álvarez-Marquina [et al.] // Information Fusion. – 2023. – Vol. 100. – P. 101945.
3. Ivanov K.V. Advantages of computer vision / K.V. Ivanov, N. D. Astafiev // Current Problems of Aviation and Cosmonautics: Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference dedicated to Cosmonautics Day: in 3 volumes, Krasnoyarsk, April 11–15, 2022. Volume 2. – Krasnoyarsk: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State University of Science and Technology named after academician M. F. Reshetnev", 2022. – P. 401-403 (in Russian).
4. Bozma H.I., Yalçın H. Visual processing and classification of items on a moving conveyor: a selective perception approach Robot. Comput.-Integr. Manuf. – 2002. – Vol. 18 (2). – P. 125-133.
5. Zhang M., Shi H., Zhang Y., Yu Ya., Zhou M. Deep learning-based damage detection of mining conveyor belt // Measurement. – 2021. – Vol. 175. – P. 109-130.
6. Proactive measures to prevent conveyor belt failures: deep learning-based faster foreign object detection / M. Zhang, Yu. Cao, K. Jiang et al. // Engineering Failure Analysis. – 2022. – Vol. 141. – P. 106 - 653.
7. Lyakhovich V.A. Dust suppression and anti-freeze composition for coke from secondary processing products of petroleum raw materials / V.A. Lyakhovich, Yu.A. Bulavka // Science. Technology. Production – 2019: Materials of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 100th anniversary of the Republic of Bashkortostan, Salavat, April 15–19, 2019. – Salavat: Ufa State Petroleum Technological University, 2019. – P. 59-61 (in Russian).
8. Koroleva A.M. Characterization of the role of the human factor in the analysis of accident causes at hazardous production facilities / A.M. Koroleva, K.I. Drobinin, L.B. Khayrullina // Economics and Entrepreneurship. – 2021. – No. 11(136). – P. 1399-1404 (in Russian).
9. Kabanova V.V., Logunova O.S. Application of artificial intelligence in working with multimedia information // Herald of Cherepovets State University. 2022. No. 6 (111). P. 23–41 (in Russian).
10. Augmentation of image datasets for training neural networks in semantic segmentation tasks / I.A. Lozhkin, M.E. Dunaev, K.S. Zaitsev, A.A. Garmash // International Journal of Open Information Technologies. – 2023. – Vol. 11, No. 1. – P. 109-117 (in Russian).
11. PyTorch: An Imperative Style, High Performance Deep Learning Library / Paszke A., Gross S., Massa F. and others. // Advances in Neural Information Processing Systems 32, Curran Associates, Inc., 2019. – P. 8024-8035.

12. Chernikov A.D. Forecasting and recognizing objects in video streams using deep learning / A.D. Chernikov // Science Bulletin. – 2023. – Vol. 2, No. 9(66). – P. 209-215 (in Russian).
13. Review of modern tools for marking digital diagnostic images / Yu.A. Vasiliev, E.F. Savkina, A.V. Vladzimirskiy et al. // Kazan Medical Journal. – 2023. – Vol. 104, No. 5. – P. 750-760 (in Russian).
14. Neural network algorithm for real-time full-frame recognition of surface objects / V.A. Bondarenko, V.A. Pavlova, V.A. Tupikov, N. G. Kholod // Southern Federal University Proceedings. Technical Sciences. – 2020. – No. 1(211). – P. 188-199 (in Russian).
15. Object segmentation with a retraining function / I.D. Nenakhov, K. Artemov, S. Zabihifar, A.N. Semochkin, S.A. Kolyubin // Proceedings of Higher Educational Institutions. Instrumentation. 2022. Vol. 65, No. 3. P. 194 – 203 (in Russian).
16. He K, Gkioxari G, Dollár P, Girshick R. MaskR-CNN Electronic resource. URL: <https://arxiv.org/abs/1703.06870> (Access date:15.08.2024)
17. Andrianov N.A. Object detection in images: from Bayes and Neyman-Pearson criteria to neural network-based detectors EfficientDet / N.A. Andrianov, V.E. Dementiev, A.G. Tashlinsky // Computer Optics. – 2022. – Vol. 46, No. 1. – P. 139-159 (in Russian).
18. Streltsov, D.N. Algorithm for object detection in video images with calculation of the areas of detected contours / D.N. Streltsov // Proceedings of Tula State University. Technical Sciences. – 2012. – No. 11-2. – P. 116-122.19.
19. Tien N.T. A literature review of ERP system, challenges and opportunities of ERP implementation on organization / N.T. Tien, T.T. Tâm // TẠP CHÍ KHOA HỌC TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUỐC TẾ HỒNG BÀNG. – 2023. – Vol. 4. – P. 35-44.
20. Martell F., López J.M., Sánchez I.Yo., Paredes C.A., Pisano E. Evaluation of the degree of automation and digitalization using a diagnostic and analysis tool for a methodological implementation of Industry 4.0 / Computers & Industrial Engineering Volume 177, March 2023, 109097.

Криницин Павел Геннадьевич, аспирант кафедры систем автоматизации, автоматизированного управления и проектирования, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Ченцов Сергей Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры систем автоматизации, автоматизированного управления и проектирования, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Krinitsin Pavel Gennadievich, Postgraduate student of the Department of Automation Systems, Automated Control and Design, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Chentsov Sergey Vasilievich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automation Systems, Automated Control and Design, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia