

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ
СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СВЯЗИ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

СТНО-2026

**IX МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ**

Сборник трудов

Том 6

Рязань
2026

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5
С 568

Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2026 [текст]: сб. тр. IX междунар. науч.-техн. форума: в 11 т. Т.6./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2026.

ISBN 978-5-7722-0443-6

Т.6: – 218 с.,: ил.

ISBN 978-5-7722-0449-8

Сборник включает труды участников IX Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2026.

В сборнике освещаются вопросы математического моделирования, новых технологий в радиотехнике, телекоммуникациях, электротехнике и радиоэлектронике, вопросы полупроводниковой наноэлектроники, приборостроения, лазерной, микроволновой техники, силовой промышленной электроники, новые технологии в измерительной технике и системах, биомедицинских системах, алгоритмическое и программное обеспечение вычислительной техники, вычислительных сетей и комплексов, вопросы разработки и применения элементов искусственного интеллекта в информационных системах и образовании, различные аспекты автоматизированного проектирования, обработки изображений и управления в технических системах, перспективные технологии в машиностроительном и нефтехимическом производствах, новые технологии и методики в высшем образовании, в т.ч. вопросы гуманитарной и физико-математической подготовки студентов, обучения их иностранным языкам, перспективные технологии электронного обучения, в том числе, дистанционного, вопросы экономики, управления предприятиями и персоналом, менеджмента, а также вопросы гуманитарной сферы.

Авторская позиция и стилистические особенности сохранены.

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5

ISBN 978-5-7722-0443-6

ISBN 978-5-7722-0449-8

© Рязанский государственный
радиотехнический университет, 2026

ИНФОРМАЦИЯ О IX МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2026

IX Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2026 состоялся 03.03.2026-05.03.2026 в г. Рязань в Рязанском государственном радиотехническом университете имени В.Ф. Уткина.

В рамках форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2026 состоялась работа четырех Международных научно-технических конференций:

«Современные технологии в науке и образовании. Радиотехника и электроника», секции

- Радиотехнические системы;
- Радиотехнические устройства;
- Телекоммуникационные системы и устройства;
- Цифровые информационные технологии реального времени;
- Промышленная силовая электроника, электроэнергетика и электроснабжение;
- Физика полупроводников, микро- и наноэлектроника;
- Микроволновая, оптическая и квантовая электроника;
- Актуальные задачи химических технологий;

«Современные технологии в науке и образовании. Вычислительная техника, математическое моделирование и автоматизированные системы», секции

- Алгоритмическое и программное обеспечение вычислительных систем и сетей;
- Искусственный интеллект и информационные технологии;
- ЭВМ и системы;
- Модели искусственного интеллекта в САПР;
- Информационные технологии в конструировании электронных средств;
- Интеллектуальные системы и технологии в образовании;
- Информационные системы и защита информации;
- Математические методы и модели в научных исследованиях и прикладных проблемах. К 90-летию И.П. Карасева - основателя теории управления "в малом";
- Обработка данных, изображений и управление в технических системах;
- Геоинформационные и космические технологии;
- Автоматизация производственно-технологических процессов в приборо- и машиностроении;
- Информационно-измерительные устройства и системы в технике и медицине.
- Стандартизация и управление качеством;
- Информационные системы и технологии;

«Современные технологии в науке и образовании. Экономика и управление», секции;

- Современные технологии государственного и муниципального управления;
- Экономика, менеджмент и организация производства;
- Бухгалтерский учет, анализ и аудит;
- Экономическая безопасность;

«Современные технологии в науке и образовании. Новые технологии и методы в высшем образовании», секции

- Современные технологии электронного обучения;
- Иностранный язык в техническом вузе;
- Лингвистика и межкультурная коммуникация;
- Направления и формы гуманитаризации высшего образования и гуманитарная подготовка студентов;
- Методы преподавания и организация учебного процесса в вузе;
- Физико-математическая подготовка студентов;

- Особенности военного образования на современном этапе.

Организационный комитет Форума:

Гусев С.И., проректор по научной работе и инновациям, д.т.н., проф.;

Миловзоров О.В., зам. начальника управления организации научных исследований, к.т.н, доц. – координатор, главный редактор сборника трудов Форума;

Мионов Вал.В., профессор кафедры высшей математики, д.ф.-м.н., проф. – ответственный редактор сборника трудов Форума;

Устинова Л.С., начальник отдела информационного обеспечения – отв. за информационную поддержку;

члены оргкомитета:

Аронов Л.В., доцент кафедры радиоуправления и связи, к.т.н., доц.;

Бабаян П.В., зав. кафедрой автоматики и информационных технологий в управлении, к.т.н., доц.;

Бубнов С.А., доцент кафедры вычислительной и прикладной математики, к.ф.-м.н., доц.;

Витязев В.В., зав. кафедрой телекоммуникаций и основ радиотехники, д.т.н., проф.;

Волченков В.А., доцент кафедры телекоммуникаций и основ радиотехники, к.т.н.;

Горлин О.А., доцент кафедры электронных приборов, к.т.н., доц.;

Городничева Е.В., ассистент кафедры автоматизации информационных и технологических процессов;

Гостин А.М., доцент кафедры систем автоматизированного проектирования вычислительных средств, к.т.н., доц.;

Губарев А.В., доцент кафедры информационно-измерительной и биомедицинской техники, к.т.н., доц.;

Гуржин С.Г., доцент кафедры информационно-измерительной и биомедицинской техники, к.т.н., доц.;

Дмитриев В.Т., зав. кафедрой радиоуправления и связи, д.т.н., доц.;

Дмитриева Т.А., доцент кафедры вычислительной и прикладной математики, к.т.н., доц.;

Евдокимова Е.Н., зав. кафедрой экономики, менеджмента и организации производства, д.э.н., проф.;

Еремеев В.В., директор НИИ «Фотон», д.т.н., проф.;

Есенина Н.Е., зав. кафедрой иностранных языков, к.п.н., доц.;

Жулев В.И., зав. кафедрой информационно-измерительной и биомедицинской техники, д.т.н., проф.;

Каширин И.Ю., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры вычислительной и прикладной математики, д.т.н., проф.;

Киселёва О.В., доцент кафедры экономической безопасности, анализа и учета, к.э.н., доц.;

Кислицына Т.С., старший преподаватель кафедры радиотехнических систем;

Клейносова Н.П., директор центра дистанционного обучения, к.п.н., доц.;

Клочко В.К., профессор кафедры автоматики и информационных технологий в управлении, д.т.н., проф.;

Коваленко В.В., зав. кафедрой химической технологии, к.т.н., доц.;

Корячко В.П., зав. кафедрой систем автоматизированного проектирования вычислительных средств, д.т.н., проф.;

Костров Б.В., зав. кафедрой электронных вычислительных машин, д.т.н., проф.;

Кошелев В.И., зав. кафедрой радиотехнических систем, д.т.н., проф.;

Крошила С.В., доцент кафедры вычислительной и прикладной математики, к.т.н., доц.;

Круглов С.А., зав. кафедрой промышленной электроники, д.т.н., доц.;

Кузьмин Ю.М., доцент кафедры информационной безопасности, к.т.н., доц.;

Куприна О.Г., доцент кафедры иностранных языков, к.филол.н., доц.;

Ленков М.В., зав. кафедрой автоматизации информационных и технологических процессов, к.т.н., доц.;

Литвинов В.Г., зав. кафедрой микро- и нанoeлектроники, д.ф.-м.н., доц.;

Лукьянова Г.С., зав. кафедрой высшей математики, к.ф.-м.н., доц.;

Маметова Ю.Ф., доцент кафедры иностранных языков, к.п.н., доц.;

Мионов В.В., старший преподаватель кафедры Воздушно-космических сил;

Митрошин А.А., доцент кафедры систем автоматизированного проектирования вычислительных средств, к.т.н., доц.;

Мишустин В.Г., доцент кафедры микро- и нанoeлектроники, к.ф.-м.н., доц.;

Овечкин Г.В., зав. кафедрой вычислительной и прикладной математики, д.т.н., проф.;

Паршин А.Ю., доцент кафедры радиотехнических устройств, к.т.н., доц.;

Паршин Ю.Н., зав. кафедрой радиотехнических устройств, д.т.н., проф.;

Перфильев С.В., зав. кафедрой государственного, муниципального и корпоративного управления, д.э.н., проф.;

Подгорнова Н.А., доцент кафедры государственного, муниципального и корпоративного управления, к.э.н., доц.;

Пржегорлинский В.Н., зав. кафедрой информационной безопасности, к.т.н., доц.;

Пылькин А.Н., профессор кафедры вычислительной и прикладной математики, д.т.н., проф.;

Саблина В.А., доцент кафедры электронных вычислительных машин, к.т.н., доц.;

Сапрыкин А.Н., доцент кафедры систем автоматизированного проектирования вычислительных средств, к.т.н., доц.;

Семенов А.Р., доцент кафедры химической технологии, к.ф.-м.н.;

Скрипкина О.В. доцент кафедры экономической безопасности, анализа и учета, к.э.н., доц.;

Соколов А.С., зав. кафедрой истории, философии и права, д.и.н.;

Соловьева И.П., доцент кафедры экономики, менеджмента и организации производства, к.э.н., доц.;

Таганов А.И., профессор кафедры космических технологий, д.т.н., проф.;

Тарасова В.Ю., ассистент кафедры электронных вычислительных машин, магистр;

Торженова Т.В. доцент кафедры экономической безопасности, анализа и учета, к.э.н., доц.;

Харитонов А.Ю., нач. военного учебного центра, полковник, к.т.н., доц.;

Холопов С.И., зав. кафедрой автоматизированных систем управления, к.т.н., доц.;

Цыцына М.И., ассистент кафедры космических технологий, магистр;

Чеглакова С.Г., зав. кафедрой экономической безопасности, анализа и учета, д.э.н., проф.;

Челебаев С.В., доцент кафедры автоматизированных систем управления, к.т.н., доц.;

Щевьев А.А., доцент кафедры истории, философии и права, к.п.н., доц.

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ»

СЕКЦИЯ «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.35

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА ИНТЕРПОЛЯЦИИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Д.С. Чубаров, О.А. Бодров

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, cubarrv@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматривается задача масштабирования спутниковых изображений в процессе их геометрического выравнивания. Приведено описание применяемых методов интерполяции, их особенностей, достоинств и ограничений. Рассмотрены три наиболее распространённых алгоритма масштабирования: метод ближайшего соседа, билинейная и бикубическая интерполяция. Для каждого метода представлено принципиальное описание и математическая формализация. Проведён сравнительный анализ реализованных алгоритмов по критериям среднеквадратичной ошибки, средней абсолютной ошибки, пикового отношения сигнала к шуму и времени выполнения. По результатам анализа определён наиболее рациональный метод с точки зрения соотношения качества и вычислительных затрат.

Ключевые слова: спутниковые изображения, геометрическое выравнивание, масштабирование изображений, интерполяция, билинейная интерполяция, бикубическая интерполяция, метод ближайшего соседа, среднеквадратичная ошибка, пиковое отношение сигнала к шуму.

GEOMETRIC ALIGNMENT OF SATELLITE IMAGES USING INTERPOLATION METHODS

D.S. Chubarov, O.A. Bodrov

*Ryazan State Radio Engineering University na med after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, cubarrv@gmail.com*

Abstract. The paper addresses the problem of scaling satellite images during geometric alignment. The applied interpolation methods, their features, advantages and limitations are described. Three common scaling algorithms are considered: nearest neighbor interpolation, bilinear interpolation and bicubic interpolation. For each method, the operating principle and mathematical formulation are presented. A comparative analysis of the implemented algorithms is performed using mean squared error, mean absolute error, peak signal-to-noise ratio and execution time. Based on the obtained results, the most rational method in terms of quality-to-computational cost ratio is determined.

Keywords: satellite images, geometric alignment, image scaling, interpolation, bilinear interpolation, bicubic interpolation, nearest neighbor method, mean squared error, PSNR.

В задачах обработки спутниковых данных часто используется несколько изображений поверхности Земли, полученных в различных спектральных диапазонах. Такие изображения несут взаимодополняющую информацию, однако их пространственные характеристики могут отличаться. На практике это проявляется в различии разрешения и размеров пиксельных матриц.

Различие размеров делает невозможным непосредственный анализ нескольких изображений и их сравнение [1]. Для устранения этого несоответствия требуется предварительное пространственное выравнивание изображений. Под пространственным выравниванием в

данной работе понимается приведение изображений к одинаковым геометрическим параметрам, обеспечивающим совпадение их координатных сеток. Только после этого становится возможным корректное попиксельное сравнение. Одним из этапов такого выравнивания является изменение масштаба одного из изображений. При масштабировании формируется новая дискретная структура, отличающаяся от исходной. Поскольку координаты новых пикселей не совпадают с целочисленными координатами исходной матрицы, значения интенсивности в этих точках отсутствуют и должны быть вычислены. Для восстановления значений используются методы интерполяции. Существующие алгоритмы интерполяции различаются по точности и вычислительной сложности, что напрямую влияет как на качество геометрического выравнивания, так и на время обработки [2].

Применяемые методы интерполяции

Интерполяция в данном контексте понимается как способ вычисления новых значений пикселей при изменении размеров изображения [3]. Поскольку исходный снимок представлен в виде дискретной матрицы яркостей, при масштабировании появляются позиции, для которых в исходных данных отсутствуют точные значения. Интерполяционный алгоритм определяет эти значения на основе соседних пикселей.

Различные методы интерполяции отличаются принципом вычисления нового значения. Одни используют минимальный объем информации и опираются только на ближайший пиксель, другие учитывают несколько соседних элементов и выполняют их взвешенное усреднение. Чем больше исходных значений участвует в расчёте, тем, как правило, более сглаженным получается результат, однако возрастает вычислительная нагрузка. В практике обработки изображений применяется широкий набор интерполяционных алгоритмов. К наиболее известным относятся метод ближайшего соседа, билинейная и бикубическая интерполяция, методы на основе В-сплайнов, алгоритмы с использованием функции sinc, а также интерполяция Ланцоша. Эти подходы различаются как по точности восстановления изображения, так и по вычислительной сложности. В рамках настоящей работы рассматриваются три базовых метода: ближайшего соседа, билинейная и бикубическая интерполяция. Их выбор обусловлен тем, что они представляют разные уровни сложности и широко применяются в задачах масштабирования изображений, что позволяет провести сопоставление качества и производительности в условиях решения поставленной задачи.

Метод ближайшего соседа является наиболее простым алгоритмом интерполяции, применяемым при изменении размеров изображения. Его принцип основан на выборе одного исходного пикселя, расположенного ближе всего к вычисляемой точке новой координатной сетки. Значение яркости нового пикселя принимается равным значению выбранного ближайшего элемента без дополнительной обработки.

Пусть изображение имеет размеры $W \times H$, а целевое изображение должно иметь размеры $W' \times H'$. Масштабные коэффициенты по горизонтали и вертикали определяются как:

$$S_x = \frac{W'}{W}, S_y = \frac{H'}{H}.$$

Для каждой дискретной точки (x', y') в выходной сетке координаты соответствующей точки в исходной сетке определяются по формулам:

$$x = \text{round}(x' \cdot S_x), y = \text{round}(y' \cdot S_y),$$

где оператор округления $\text{round}()$ сопоставляет вещественное значение с ближайшим целым индексом пикселя в исходной сетке. Таким образом, значение пикселя в выходном изображении записывается как:

$$I'(x', y') = I(\text{round}(x' \cdot S_x), \text{round}(y' \cdot S_y)).$$

Однако из-за отсутствия сглаживания метод может приводить к появлению ступенчатых границ и заметных искажений при увеличении изображения. Резкие переходы яркости сохраняются без аппроксимации, что снижает визуальное качество результата. Несмотря на это, высокая скорость работы делает метод ближайшего соседа удобным для предварительных вычислений и задач, где приоритетом является производительность.

Билинейная интерполяция представляет собой более точный способ масштабирования по сравнению с методом ближайшего соседа. В отличие от дискретного выбора одного пикселя, данный алгоритм учитывает локальное окружение вычисляемой точки и формирует новое значение на основе нескольких соседних элементов исходного изображения. После пересчёта координат результирующего пикселя в систему координат исходного изображения получают вещественные значения. Эти координаты располагаются внутри прямоугольной области, образованной четырьмя соседними пикселями исходной матрицы. Значение яркости в новой точке определяется как взвешенная комбинация этих четырёх элементов. Для формализации метода вводятся обозначения дробных смещений по горизонтали и вертикали относительно ближайших целочисленных координат. Вес каждого из четырёх пикселей определяется расстоянием от вычисляемой точки до соответствующего узла сетки. Таким образом, вклад каждого соседнего элемента пропорционален его близости к интерполируемой позиции.

Пусть $I(x, y)$ – дискретная функция яркости, необходимо получить изображение $I'(x', y')$ размером $W' \times H'$. Масштабные коэффициенты определяются аналогично предыдущему пункту. Вычисление координат в исходном изображении вычисляется по формуле:

$$x_f = x' \cdot S_x, \quad y_f = y' \cdot S_y,$$

где x и y – это вещественные координаты соответствующей точки в исходном изображении. Значение нового пикселя рассчитывается с учетом четырех ближайших пикселей исходного изображения. Координаты этих пикселей находим по формулам:

$$x_1 = \text{floor}(x_f), x_2 = x_1 + 1, y_1 = \text{floor}(y_f), y_2 = y_1 + 1,$$

где $\text{floor}(x)$ и $\text{floor}(y)$ – это операции округления до ближайшего меньшего целого числа.

Теперь, чтобы вычислить, как далеко новый пиксель находится от ближайших пикселей в исходном изображении, рассчитываем дробные смещения dx и dy :

$$dx = x_f - x_1, \quad dy = y_f - y_1,$$

где dx – это смещение по оси X (горизонтальное), а dy – это смещение по оси Y (вертикальное).

Билинейная интерполяция вычисляется как взвешенное среднее четырёх соседних значений:

$$I'(x', y') = (1-dx)(1-dy) \cdot I(x_1, y_1) + dx(1-dy) \cdot I(x_2, y_1) + (1-dx)dy \cdot I(x_1, y_2) + dx dy \cdot I(x_2, y_2).$$

Это финальная формула для билинейной интерполяции, где $I'(x', y')$ – значение пикселя в новом изображении. Использование линейного взвешивания позволяет получить более плавное изменение яркости по сравнению с методом ближайшего соседа. Это снижает выраженность ступенчатых переходов и улучшает визуальное качество изображения при

увеличении. Однако по сравнению с предыдущим методом возрастает объём вычислений, поскольку требуется обработка четырёх пикселей и расчёт весовых коэффициентов.

Бикубическая интерполяция представляет собой более сложный метод масштабирования по сравнению с билинейным подходом. В отличие от использования четырёх соседних пикселей, данный алгоритм учитывает расширенную окрестность вычисляемой точки и формирует новое значение на основе большего количества исходных данных. После пересчёта координат результирующего пикселя в систему координат исходного изображения определяются целочисленные индексы ближайшей опорной точки и дробные смещения по обеим координатам. В отличие от билинейной интерполяции, где используется квадрат размером 2×2 , здесь рассматривается область 4×4 , содержащая шестнадцать соседних пикселей. Вычисление нового значения выполняется в два этапа. Сначала производится интерполяция по горизонтальному направлению для каждой из четырёх строк выбранной области. В результате формируются промежуточные значения. Затем полученные величины используются для интерполяции по вертикали, что позволяет определить окончательное значение яркости в заданной точке $I(x', y')$:

$$I'(x', y') = p_1 + \frac{1}{2} dy \cdot \left(p_2 - p_0 \cdot \left(2p_0 - 5p_1 + 4p_2 - p_3 + dy \cdot \left(3(p_1 - p_2) + p_3 - p_0 \right) \right) \right),$$

где p_0, p_1, p_2, p_3 – значения интерполяции по четырём строкам.

Использование кубической аппроксимации обеспечивает более плавное изменение яркости и лучшее сохранение границ объектов по сравнению с билинейной интерполяцией. Однако увеличение числа обрабатываемых пикселей и более сложная формула вычислений приводят к росту времени выполнения алгоритма.

Сравнительный анализ методов интерполяции

Для выбора оптимального метода масштабирования выполнена количественная оценка качества полученных изображений и вычислительной эффективности алгоритмов. Сравнение проводилось по четырём критериям: среднеквадратичной ошибке, средней абсолютной ошибке, пиковому отношению сигнала к шуму и времени выполнения.

Среднеквадратичная ошибка (СКО) характеризует среднее квадратичное отклонение значений интерполированного изображения от эталонного и позволяет оценить степень накопления ошибок:

$$СКО = \frac{1}{w \cdot h} \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^h \left(I(i, j) - I'(i', j') \right)^2,$$

где w, h – ширина и высота изображения, $I(i, j)$ – значение пикселя оригинального изображения, $I'(i', j')$ – значение пикселя интерполированного изображения в той же позиции.

Средняя абсолютная ошибка (САО) отражает среднюю величину отклонения без возведения в квадрат и позволяет оценить равномерность ошибок по изображению:

$$, САО = \frac{1}{w \cdot h} \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^h \left(I(i, j) - I'(i', j') \right).$$

Пиковое отношение сигнала к шуму (ПОСШ) является логарифмической мерой качества восстановления и определяется на основе среднеквадратичной ошибки:

$$ПОСШ = 10 \text{Log}_{10} \left(\frac{\max_i^2}{СКО} \right),$$

где \max_i – максимально возможное значение яркости пикселя в изображении.

Время выполнения определяет вычислительную эффективность метода и рассчитывается как разность между моментами начала и окончания работы алгоритма:

$$T = t_{end} - t_{start},$$

где t_{start} – момент начала выполнения программы, t_{end} – момент начала его завершения.

Результаты сравнительного анализа приведены в таблице 1.

Таблица 1. Оценка методов интерполяции

Метод/Критерий	Время выполнения, мс	СКО	ПОСШ, дБ	САО
Метод ближайшего соседа	23	121.821130	27.273577	6.084377
Билинейная интерполяция	46	54.322773	30.780984	4.072000
Бикубическая интерполяция	164	48.518672	31.271715	3.977118

Для показателей САО и СКО предпочтительны меньшие значения, для ПОСШ – большие, а время выполнения оценивается по минимальному значению. Полученные результаты показывают, что переход от метода ближайшего соседа к билинейной интерполяции приводит к существенному снижению ошибок и заметному росту ПОСШ при умеренном увеличении времени обработки. В то же время, переход от билинейной к бикубической интерполяции сопровождается резким ростом времени выполнения, тогда как улучшения по остальным критериям являются незначительными. Таким образом, метод ближайшего соседа значительно уступает по качеству, а бикубическая интерполяция обеспечивает лишь небольшое повышение точности при существенно больших вычислительных затратах. Наиболее рациональным по соотношению качества и времени обработки является билинейный метод.

Библиографический список

1. Мятлов Г. Н., Тишкин Р. В., Ушенкин В. А., Юдаков А. А. Применение нечетких мер подобия в задаче совмещения изображений поверхности земли // Вестник рязанского государственного радиотехнического университета им. В.Ф. Уткина – 2013
2. Еремеев В. В., Егошкин Н. А., Макаренков А. А., Москвитин А. Э., Ушенкин В. А. Проблемные вопросы обработки данных от космических систем гиперспектральной и радиолокационной съемки земли // Вестник рязанского государственного радиотехнического университета – 2017, учредитель: Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина
3. Кузнецов А. Е., Светелкин П. Н. Оперативное совмещение спектрально-анализированных изображений при цветосинтезе // Вестник рязанского государственного радиотехнического университета им. В.Ф. Уткина – 2007

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ФОРМАЛИЗМЫ ВЕРИФИКАЦИИ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МЕТРИК

А.А. Кокунов, А.И. Таганов, М.И. Цыцына

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, alxtag@yandex.ru

Аннотация. В работе рассмотрены практико-ориентированные подходы к формализации процесса верификации и оценки качества программного обеспечения объектно-ориентированных проектов, теоретическая база которых учитывает специфические особенности объектно-ориентированного подхода: локализацию, инкапсуляцию, информационную закрытость, наследование и механизмы абстрагирования. В число анализируемых в работе метрик и формируемых алгоритмических формализмов вошли: метрики Мартина, метри-

ки Чидамбера и Кемерера, метрики Лоренца и Кидда. В результате выделенные группы формализмов составляют алгоритмическую основу для разработки средств автоматизации процесса верификации и оценки качества объектно-ориентированных программ.

Ключевые слова: программное обеспечение, объектно-ориентированная программа, модель качества программы, оценка характеристик качества программы, объектно-ориентированные метрики, формализованный подход.

FORMALISM OF VERIFICATION AND QUALITY ASSESSMENT OF SOFTWARE FOR GEOINFORMATION SYSTEMS BASED ON OBJECT-ORIENTED METRICS

A.A. Kokunov, A.I. Taganov, M.I. Tsytsina

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, alxtag@yandex.ru

Annotation. The paper considers practice-oriented approaches to formalizing the process of verifying and evaluating the quality of software for object-oriented projects, the theoretical basis of which takes into account the specific features of the object-oriented approach: localization, encapsulation, information closeness, inheritance and abstraction mechanisms. The metrics analyzed in the work and the algorithmic formalisms formed include: martin metrics, chidamber and kemerer metrics, lorenz and kidd metrics. As a result, the selected groups of formalisms form the algorithmic basis for the development of automation tools for the verification and quality assessment of object-oriented programs.

Keywords: software, object-oriented program, program quality model, evaluation of program quality characteristics, object-oriented metrics, formalized approach.

Введение

Современные геоинформационные системы (ГИС) и геоинформационные технологии благодаря их широкой информативности и функциональности начинают активно использоваться и внедряться в науку, производство, образование, в практическую деятельность с целью получения информации об окружающей реальности. При этом ГИС являются особым классом информационных систем и имеют свои особенности и характеристики качества программного обеспечения (ПО), которые согласно требованиям стандартов системы менеджмента качества ИСО необходимо на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) ПО ГИС оценивать и улучшать [1 - 10]. Отсюда является достаточно актуальной задача формализации и автоматизации процесса анализа и оценки качества ПО на всех стадиях жизненного цикла ГИС.

Современные модели качества ПО для проектов ГИС, как правило, строятся на основе широко известных иерархических стандартизированных моделей качества программных продуктов. Например, такая модель качества успешно формализуется на основе стандарта ISO/IEC 9126 и других, и должна по определению включать следующие структурные составляющие:

- характеристики качества программного обеспечения ГИС;
- атрибуты характеристик качества;
- метрики атрибутов характеристик качества
- оценки значений атрибутов.

При этом, в числе наиболее важных характеристик качества модель реально должна содержать на верхнем уровне такие показатели качества ПО ГИС как: функциональность, надёжность, удобство, эффективность, сопровождаемость, переносимость и др.

На втором уровне модели качества ПО, располагаются атрибуты характеристик качества, которые детализируют показатели качества. На третьем уровне модели качества располагаются метрики качества, определяемые как заданные комбинации методов измерения атрибутов и шкалы измерения значений атрибутов. Для оценки атрибутов качества ПО на практике применяются метрики с заданным оценочным весом.

В соответствии представленной моделью качества ПО ГИС далее рассматриваются методы верификации и оценки качества ПО в контексте использования объектно-ориентированных метрик Мартина, метрик Чидамбера и Кемерера, метрик Лоренца и Кидда [1-6].

Формализмы метрики Мартина для оценки качества ПО ГИС

Анализ литературных источников показал, что для оценки характеристик объектно-ориентированных программ ГИС могут применяться следующие формализмы метрик, предложенных Робертом Сесилом Мартином [1-3]:

1. Центростремительное сцепление C_a .

Эта метрика позволяет при анализе проекта программного обеспечения геоинформационной системы определить общее количество задействованных классов вне конкретной категории проекта, которые зависят от классов внутри конкретной категории.

2. Центробежное сцепление C_e .

Метрика позволяет при анализе проекта ПО ГИС определить общее количество классов внутри конкретной категории проекта, которые зависят от класса вне неё.

3. Нестабильность I – расчётная метрика, значение которой определяется по формуле

$$I = \frac{C_e}{C_a + C_e}, \quad (1)$$

где C_a – центростремительное сцепление; C_e – центробежное сцепление.

4. Абстрактность A – мера, оценивающая абстрактность категории.

Если категория абстрактна, то она является достаточно гибкой и определяется по формуле

$$I = \frac{n_A}{n_{All}}, \quad (2)$$

где n_A – отражает при анализе проекта ГИС количество абстрактных классов в анализируемой категории проекта; n_{All} – отражает общее количество классов в анализируемой категории проекта ГИС.

При анализе проекта ГИС значения метрики абстрактности может рассматриваться и изменяться в диапазоне от 0 до 1. При этом категория конкретна при нулевом значении абстрактности, а категория абстрактна при единичном значении. На основе метрик Мартина строится график, отражающий зависимость между абстрактностью и нестабильностью (главная последовательность).

5. Расстояние до главной последовательности определяется по формуле

$$D = \frac{A+I-1}{\sqrt{2}}, \quad (3)$$

где A – абстрактность; I – нестабильность.

6. Нормализованное расстояние до главной последовательности определяется по формуле

$$D_n = A + I - 2, \quad (4)$$

где A – абстрактность; I – нестабильность.

Чем ближе классы находятся к главной последовательности, тем лучше для обеспечения качества программного средства [1-4].

Метрики Чидамбера и Кемерера для оценки качества ПО ГИС

Метрики Чидамбера и Кемерера основаны на анализе методов класса, дерева наследования и включают шесть метрик, которые также рекомендуются к использованию для верификации и оценки качества ПО ГИС [1-3]:

1. *Взвешенные методы на класс WMC (Weighted Methods Per Class).*

Данная метрика позволяет подсчитывать количество методов в классе, оценить сложность каждого метода расчетом цикломатической сложности и представить интегрированную оценку сложности методом суммирования показателей сложности всех методов в классе. Также на практике используется упрощенный способ расчета, основанный на подсчете только количества методов в классе. При этом считается, что чем меньше методов содержит класс, тем оценка его качества выше.

2. *Глубина дерева наследования DIT (Depth of Inheritance Tree).*

Указанная метрика при анализе ПО ГИС позволяет определить количество классов-предков с позиции их потенциального влияния на рассматриваемый класс. В рассматриваемой иерархии классов проекта ПО ГИС значением этой метрики является длина максимального пути от рассматриваемого класса проекта до корневого класса проекта. Большее значение этой метрики констатирует высокую сложность проекта, но при этом, с другой стороны, является хорошим показателем, характеризующим, что многие методы могут в проекте использоваться многократно.

3. *Количество потомков NOC (Number Of Child)* позволяет при анализе ПО ГИС определить значение количества непосредственных классов-наследников рассматриваемого класса. С увеличением значения *NOC* возрастает возможность многократного использования методов и свойств классов, что является хорошей характеристической оценкой проекта.

4. *Связанность между классами объектов CBO (Coupling Between Object classes).*

Метрика дает возможность при анализе и оценке ПО ГИС рассчитать количество классов проекта, с которыми связан рассматриваемый класс. В проекте ПО ГИС связанность классов проекта образуется в процессе вызова рассматриваемым классом проекта отдельного метода или свойства другого класса проекта. При этом более низкая величина сцепления для класса считается предпочтительной.

5. *Количество откликов на класс RFC (Response For Class).*

В процессе анализа и оценки проекта ГИС метрика количества откликов позволяет, при расчете показателя анализируемого класса, использовать количество собственных методов класса, которые могут быть вызваны из рассматриваемого класса. При этом, большее значение этой метрики позволяет судить о высокой сложности класса, что негативно отражается на проведении процесса тестирования и отладки ПО ГИС.

6. *Отсутствие сцепления в методах LCOM (Lack Cohesion Of Methods).*

Эта метрика позволяет в проекте ГИС оценить зависимость собственных методов рассматриваемого класса друг от друга в контексте значения метрики, показывающей насколько в классе количество пар методов, не связанных по свойствам класса, в большей или меньшей степени преобладает над количеством пар методов, связанных по свойствам класса. При этом, высокая связанность класса по методам является хорошей характеристикой проекта, содействующей свойству инкапсуляции.

Метрики Лоренца и Кидда для верификации и оценки качества ПО ГИС

Метрики Лоренца и Кидда здесь также проанализированы и рекомендуются к использованию для верификации и оценки качества ПО ГИС [1-3]. Эти метрики подразделяются на группы:

- метрики размера, основанные на подсчете свойств и операций классов, средних значений объектно-ориентированной программы;

- метрики наследования, учитывающие способы повторного использования операций в иерархии классов;

- внутренние метрики, отвечающие на вопросы связности и кодирования;
- внешние метрики, изучающие сцепление и повторное использование.

Метрики Лоренца и Кидда включают десять метрик:

1. *Размер класса CS (Class Size).*

Метрика при оценке проекта ГИС позволяет определить общий размер класса на основании выявления следующих показателей:

- общее количество операций;
- количество свойств.

Выполнение необходимых измерений при оценке проекта ПО ГИС следует проводить с учетом свойств наследуемых операций по формуле:

$$CS = C\Sigma + S\Sigma, \quad (5)$$

где $C\Sigma$ – общее количество методов (операций), инкапсулированных классом проекта; $S\Sigma$ – общее количество свойств, инкапсулированных классом проекта.

2. *Количество операций, переопределяемых подклассом NOO (Number of Operations Overridden by a Subclass).*

Эта метрика при анализе проекта ГИС рассматривает проблему определения количества операций оценки для случая с переопределением. Этот случай характеризуется тем, что когда подкласс замещает операцию, унаследованную от суперкласса, своей собственной версией. При этом большие значения метрики NOO могут указывать на возникшие проблемы в проектировании ПО ГИС.

3. *Количество операций, добавленных подклассом NOA (Number of Operations Added by a Subclass).*

Эта метрика при анализе проекта ГИС определяется количеством добавленных относительно родительского класса собственных методов и операций по формуле:

$$NOA = N\Sigma, \quad (6)$$

где $N\Sigma$ – общее количество в проекте новых методов класса, которые добавлены относительно суперкласса. При этом в практике проекта ПО ГИС с увеличением значения NOA подкласс приобретает меньшую общность со своим суперклассом, а это в свою очередь, требует больших трудозатрат в процессе тестирования ПО ГИС. Для рекомендуемых граничных значений размера класса ($CS = 20$) и высоты дерева иерархии классов ($DIT = 6$) значение NOA ограничено значением 4 ($NOA < 4$).

4. *Индекс специализации SI (Specialization Index)* характеризует грубую оценку степени специализации каждого подкласса при добавлении, удалении или переопределении операций.

При анализе проекта ПО ГИС следует учитывать, что большее значение метрики SI, повышает вероятность того, что в иерархии классов проекта имеются отдельные экземпляры, нарушающие абстракцию суперкласса. Рекомендуемое значение показателя SI ограничено сверху величиной 0,15.

5. *Средний размер операции AOS (Average Operation Size).*

Эта метрика позволяет при анализе проекта ПО ГИС определить количество сообщений, порождаемых каждой операцией, а в качестве оценки размера операции может использоваться количество строк программы.

6. *Сложность операции OC (Operation Complexity)* может быть вычислена при анализе проекта ПО ГИС на основе стандартных метрик сложности суммированием оценок с весовыми коэффициентами, приведенными в таблице 1.

Таблица 1. Весовые коэффициенты

Действие	Вес
Определение (описание) переменной-параметра	0,3
Определение (описание) временной переменной	0,5
Присваивание значения	0,5
Вложенное выражение	0,5
Сообщение без параметров	1
Арифметическая операция	2
Сообщение с параметрами	3
Вызов стандартной функции интерфейса (API)	5
Вызов пользовательской функции (простой вызов)	7

7. *Среднее количество параметров на операцию ANP (Average Number of Parameters per operation).*

Эта метрика при анализе ПО ГИС может определяться отношением числа параметров операции к количеству операций (методов) класса. На практике выполнения проекта ПО ГИС следует стремиться к значению метрики *ANP* как можно меньшим. Опытным путем было установлено рекомендуемое значение *ANP* = 0,7.

8. *Количество описаний сценариев NSS (Number of Scenario Scripts).*

Метрика количества описаний сценариев при анализе ПО ГИС может измеряться количеством классов, реализующих требования к программному обеспечению, или измеряться количеством состояний для каждого класса, а также количеством методов класса. При анализе проекта ПО ГИС метрика *NSS* является достаточно эффективным индикатором размера создаваемой программы.

9. *Количество ключевых классов NKC (Number of Key Classes).*

Метрика при оценке проекта ПО ГИС может характеризовать общий объем работы по программированию. На практике установлено, что рекомендуется ограничивать значения метрики *NKC* снизу значением 0,2. Если значение метрики *NKC* < 0,2 от общего количества классов системы, то необходимо пересмотреть выделение классов.

10. *Количество подсистем NSUB (Number of subsystem).*

Эта метрика при анализе проекта ПО ГИС определяется непосредственным подсчетом количеством подсистем ГИС. Количество подсистем проекта ГИС является важной характеристикой при планировании проекта, размещении ресурсов и интеграции подсистем.

Выводы

Рассмотренные в работе формализмы представляют обоснованную теоретическую и методическую базу [1 -10] для алгоритмизации и автоматизации процесса верификации и оценки качества программного обеспечения широкого класса объектно-ориентированных программ ГИС с использованием хорошо апробированных в инженерной практике объектно-ориентированных метрик и моделей оценки характеристик качества программ. В результате выделенные в работе группы формализмов составляют основу для разработки средств автоматизации процесса верификации и оценки качества объектно-ориентированных программ.

Библиографический список

1. Липаев В.В. Выбор и оценивание характеристик качества программных средств. Методы и стандарты. М.: СИНТЕГ, 2001. – 228 с.
2. Черников Б.В., Поклонов Б.Е. Оценка качества программного обеспечения: Практикум. – М.:ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2022. - 400 с.
3. Таганов А.И. Основы идентификации, анализа и мониторинга проектных рисков качества программных изделий в условиях нечеткости: Монография. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 224 с.

4. Цыцына М.И. Анализ методов и стандартов в области менеджмента надежности и риска космических систем // В книге: Новые информационные технологии в научных исследованиях. Материалы XXIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Рязань, 2019. - С. 337-338.

5. Таганов А.И. Анализ и классификация рисков проекта методами нечеткой классификации // Информационные технологии моделирования и управления - Воронеж: Научная книга, 2010. - Вып. 63. - С. 455 - 461.

6. Цыцына М.И. Применение методов нечеткой классификации для оптимизации состава контролируемых рисков качества программного проекта // В сборнике: Материалы IX научно-технической конференции магистрантов Рязанского государственного радиотехнического университета. - Рязань: РГРТУ, 2023.

7. Кокунов А.А., Таганов А.И. Модельное представление операторов алгоритмических процессов информационных систем для задач оценки надежности и оптимизации. В сборнике: Материалы VII Всероссийской научно-технической конференции. – Рязань, 2022. С. 210 – 218.

8. Демидова Л.А., Советов П.Н., Горчаков А. В. Кластеризация представлений текстов программ на основе цепей Маркова // Вестник РГРТУ. 2022. Выпуск 81. С. 51-64.

9. Корячко В.П., Минаев В.А., Степанов Р.О., Фаддеев А.О.. Математическое и компьютерное моделирование сейсмических рисков на территориях расположения объектов критической инфраструктуры // Вестник РГРТУ. 2023. № 84. - С. 133-142.

10. Перепелкин Д.А., Фам А.М. Математические модели планирования упорядоченного набора операций для распределения разнородных ресурсов в промышленных телекоммуникационных сетях // Вестник РГРТУ. 2022. Выпуск 79. - С. 56-67.

УДК 004.94; ГРНТИ 50.53

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ВАЖНОСТИ ТРЕБОВАНИЙ ПРОГРАММНОГО ПРОЕКТА ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ КАЧЕСТВА В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОСТИ

Ф.В. Сафонов*, А.И. Таганов**, А.А. Кокунов**

*Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова
Москва, svf3lix@yandex.ru

**Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, alxtag@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматриваются методологические вопросы формализации решения задачи определения степени важности требований программного проекта по характеристикам качества в условиях нечеткости исходных данных. Рассмотрены подходы к решению задачи на условиях, учитывающих связность и зависимость требований по стадиям жизненного цикла программного проекта. Рассмотрены различные формализмы, термины и определения, доказательства утверждений, шаги алгоритма решения задачи для случая нечеткого подхода. Также представлены формализмы для постановки и решения указанной задачи для вида субъективной связности требований к характеристикам качества проекта. Приведены два алгоритма решения этой задачи для различных видов данных, выполнение которых в инженерной практике позволяет ранжировать состав требований по степени важности на каждом этапе жизненного цикла программного проекта.

Ключевые слова: программный проект, требования проекта, задача определения степени важности требований, формализация задачи, алгоритмы решения задачи

DETERMINING THE DEGREE OF IMPORTANCE OF SOFTWARE PROJECT REQUIREMENTS BASED ON QUALITY CHARACTERISTICS UNDER FUZZY CONDITIONS

F.V. Safonov*, A.I. Taganov**, A.A. Kokunov**

*Plekhanov Russian University of Economics
Moscow, svf3lix@yandex.ru

**Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, alxtag@yandex.ru

Abstract. This paper addresses methodological issues of formalizing the solution to the problem of determining the degree of importance of software project requirements based on quality charac-

teristics under fuzzy initial data conditions. Approaches to solving the problem are considered, taking into account the connectivity and dependency of requirements across the stages of the software project lifecycle. Various formalisms, terms and definitions, proofs of statements, and algorithm steps for solving the problem in the case of a fuzzy approach are discussed. Formalisms for posing and solving the specified problem for the type of subjective connectivity of requirements to project quality characteristics are also presented. Two algorithms for solving this problem for different types of data are provided, the implementation of which in engineering practice allows for ranking the set of requirements by degree of importance at each stage of the software project lifecycle.

Key words: program project, project requirements, task of determining the degree of importance of requirements, formalization of the task, algorithms for solving problems

Введение

Задача определения степени важности требований к характеристикам качества программного проекта возникает на этапе формирования технического задания (ТЗ) проекта и далее также решается на всех стадиях жизненного цикла (ЖЦ) программного проекта, когда требования уточняются и корректируются [1-3, 5]. Содержание такой задачи на формальном уровне заключается в определении вектора степеней влияния анализируемых требований к проекту на характеристики качества проекта с целью определения наиболее важных требований и их включения в ТЗ текущего этапа проекта. Эта задача может рассматриваться также как задача формального согласования мнений специалистов (менеджеров проекта, разработчиков и заказчиков проекта) по отношению к оценке субъективной степени важности влияния рассматриваемых требований на обобщенный критерий качества проекта [2, 4].

Постановка задачи

Постановка и область определения рассматриваемой задачи представлена здесь кортежем:

$$\langle R, H, f_s, P_s, G, D \rangle, \quad (1)$$

где R – множество потенциальных требований для включения в ТЗ проекта, определенных на этапе идентификации и формулировки потенциально важных требований;

H – модель характеристик качества программного проекта;

f_s – отображение R в H , т.е. оценка влияния последствий R на H ;

P_s – структура предпочтений эксперта;

G – граф связности требований проекта.

Необходимо разработать набор алгоритмов D , покрывающий основные варианты информационного состава анализируемых требований к проекту по всем стадиям жизненного цикла проекта с целью формализации и определения искомого вектора, отражающего степени важности требований R при их потенциальном влиянии на характеристики качества проекта.

Для решения задачи (1) в работе предлагаются следующие подходы.

- Подход 1 связан с разработкой алгоритма $D1$, который позволяет определять по стадиям ЖЦ проекта вектор степени важности требований R при их потенциальном влиянии на характеристики качества проекта на основе следующих исходных данных: модель H задана множеством независимых (не связанных) характеристик качества проекта; R – множество независимых потенциальных требований для включения в ТЗ проекта; f_s и P_s представлены экспертным способом на основе количественных оценок.

- Подход 2 связан с разработкой алгоритма $D2$, который отличается от $D1$ тем, что экспертные оценки по анализу требований (предпочтения экспертов) заданы вербальным способом.

- Подход 3 связан с разработкой алгоритма $D3$, который отличается от $D1$ и $D2$ тем, что модель H представлена деревом характеристик качества проекта.
- Подход 4 связан с разработкой алгоритма $D4$, который позволяет на основе данных, полученных при использовании одного из $D1, D2, D3$ учитывать дополнительную однозначную связность требований по стадиям ЖЦ программного проекта.
- Подход 5 связан с разработкой алгоритма $D5$, который в отличие от $D4$ и учитывает субъективную связность требований программного проекта по характеристикам качества.

Решение задачи (1) в рамках подходов 1, 2, 3 рассмотрено в работах [4, 6-9] для предметной области, связанной с управлением рисками качества программного проекта и является основой для решения текущих задач в рамках подходов 4 и 5 в условиях нечеткости исходных данных на основе использования методов теории нечетких множеств [6].

В практике управления требованиями проектов программных изделий возникают ситуации при анализе требований, которые характеризуются наличием зависимостей между потенциальными требованиями для включения в ТЗ проекта и как следствие присутствует нечеткое дублирование и избыточность информации по требованиям к проекту. Ключевым понятием в этом случае является понятие связности (избыточности) потенциальных требований и отсюда возникает проблема определения степени важности требований для их ранжирования по важности и оптимизации состава требований по стадиям жизненного цикла проекта.

Определение 1. Под связностью \mathcal{G} двух потенциальных требований R_i, R_j понимается возможность появления в качестве последствия $X(R_i)$ потенциального требования R_j . При этом связность \mathcal{G} может быть однозначной или субъективной.

Определение 2. Связность $\mathcal{G}(R_i, R_j)$ будем называть субъективной, если возможность появления в качестве последствий R_i появления другого требования R_j , представлена нечетким числом $D = \langle \eta(R_i, R_j) / (R_i, R_j) \rangle$, где $\eta(R_i, R_j)$ – субъективная величина, характеризующая меру возможности появления в качестве последствий R_i другого требования R_j .

Определение 3. Связность $\mathcal{G}(R_i, R_j)$ будем называть однозначной, если $\mathcal{G}^n(R_i, R_j) = 1$.

В процессе управления требованиями менеджеры на каждом текущем этапе ЖЦ проекта формируют граф связности $G^{\mathcal{G}}$ потенциальных требований, выделенных на этапе идентификации требований. Вследствие того, что потенциальные требования могут порождать другие требования по временной шкале стадий жизненного цикла проекта, то требования i -ого этапа ЖЦ проекта могут явиться последствиями только $i-k$ -го этапа ЖЦ проекта ($k \leq i-1$), и в таком графе отсутствуют циклы. Поэтому граф связности потенциальных требований $G^{\mathcal{G}}$ является лесом связности потенциальных требований по отношению к анализу влияния требований на характеристики качества программного проекта.

Рассматриваемый граф требований для последующего анализа требований однозначно описывается матрицей связности требований проекта:

$$\mathcal{G} = \begin{matrix} & R_1 & R_2 & \dots & R_n \\ \begin{matrix} R_1 \\ R_2 \\ \dots \\ R_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & \mathcal{G}(R_1, R_2) & \dots & \mathcal{G}(R_1, R_n) \\ \mathcal{G}(R_2, R_1) & 0 & \dots & \mathcal{G}(R_2, R_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathcal{G}(R_n, R_1) & \mathcal{G}(R_n, R_2) & \dots & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}. \quad (2)$$

Далее на основе матричного представления графа требований рассмотрим возможные пути для решения задачи (1) в условиях однозначной и субъективной связности требований проекта. При этом следует заметить, что нижеописанные алгоритмы $D4, D5$ следует рассмат-

ривать лишь при условии, что если потенциальные требования для анализа представлены независимым кортежем с использованием методов ($D1, D2, D3$), приведенных в работе [4].

Алгоритм $D4$ решения задачи (1) при однозначной связности требований проекта

Данный подход к решению задачи (1) рассматривает однозначно связанные требования проекта. Из определения (3) следует, что при однозначной связности R_i , и R_j в качестве последствий $X(R_i)$ в проекте может формулироваться требование R_j . Следовательно, в процессе управления требованиями и устранения избыточности требований R_i имеется возможность исключения появления избыточного требования R_j . Из этого предположения можно сделать вывод, что для оптимизации требований задача (1) трансформируется в задачу определения вектора важности требований только на основе рассмотрения и анализа корневых вершин графа G^g .

Дадим определение важности требования проекта.

Определение 4. Важностью потенциального требования R_i будем называть положительное действительное число $V(R_i)$, учитывающее как степень влияния последствий самого требования R_i , так и степень влияния требований, принадлежавших поддереву графа связности с начальной вершиной в R_i .

Далее для решения задачи (1) введем некоторые формализмы.

Определение 5. Важность $V(R_i)$ потенциального требования R_i , которое порождает потенциальное требование R_j , определяется по формуле:

$$V(R_i) = \lambda(R_i) + \lambda(R_j). \quad (3)$$

Допустим, что в случае использования одного из разработанных в [1, 2] методов, мы получили для потенциальных требований R_i и R_j степень влияния их последствий $\lambda(R_i)$ и $\lambda(R_j)$ соответственно. Тогда из определения (3) следует, что при анализе требования R_i мы получаем оценку степенью влияния $\lambda(R_i) + \lambda(R_j)$, а по определению (4) это и есть важность требования R_i .

Утверждение 1. Важность $V(R_i)$ требования R_i , последствиями которого являются только требования листьев графа связности G^g , будет определяться алгебраической суммой степени влияния последствий $\lambda(R_i)$ и степеней влияния тех требований, которые являются последствиями включения требования R_i :

$$V(R_i) = \lambda(R_i) + \sum_{j=1}^k \lambda(R_j^i), \quad (4)$$

где $R_j^i \mid j \in \overline{1, k}$ – все потенциальные требования, являющиеся последствиями R_i .

Следствие 1. Аппроксимируя утверждение на любую вершину графа связности требований G^g , получаем обобщенную формулу для вычисления важности произвольной вершины графа связности требований G^g :

$$V(R_i) = \lambda(R_i) + \sum_{j=1}^{k1} V(R_j), \quad (5)$$

где R_j – потенциальные требования, являющиеся непосредственными последствиями требования R_i .

Следствие 2. Важность потенциального требования, являющегося листом графа связности G^g будет определяться степенью влияния последствий на обобщенный критерий качества проекта:

$$V(R_i) = \lambda(R_i). \quad (6)$$

Алгоритм D4. Таким образом, основываясь на введенном выше формализме, предлагается алгоритм для решения задачи определения вектора важности требований проекта:

Шаг 1. На основе сформулированных менеджерами состава требований проекта строится граф связности требований и строится матрица связности $\mathcal{G}(R_i, R_j)$ требований.

Шаг 2. Последовательно по уровням иерархии графа связности G^g от листьев к корням дерева графа по формулам (4) – (6) определяется вектор важности потенциальных требований проекта $V(R)$, который используется в качестве исходных данных для решения уже другой задачи, связанной оптимизацией состава требований проекта [9-11].

Алгоритмы D5 решения задачи (1) при субъективной связности требований

При субъективной связности требований считаем, что формулировка одного требования проекта может способствовать необходимости формулировки другого требования, возможно с некоторой субъективной мерой \mathcal{G}^n , которая задается менеджерами проекта. В общем случае величина $\mathcal{G}^n \in [0,1]$ определяет субъективную степень связности требований и характеризует возможность появления в качестве последствий текущего требования других требований в проекте.

Для решения поставленной задачи (1) при субъективной связности требований введем некоторые дополнительные формализмы.

Определение 6. Важность требования R_i , которое порождает со степенью связности $\mathcal{G}^n(R_i, R_j)$ другое требование R_j , определяется по формуле:

$$V^n(R_i) = \lambda(R_i) + \mathcal{G}^n(R_i, R_j) * \lambda(R_j). \quad (7)$$

Рассмотрим два крайних случая связности требований: независимые и однозначно связные. В первом случае согласно следствию (2) важность $V(R_i) = \lambda(R_i)$, с другой стороны важность $V(R_i)$ для R_i можно представить как $V(R_i) = \lambda(R_i) + 0 * \lambda(R_j)$. Во втором случае по определению (5) $V(R_i) = \lambda(R_i) + 1 * \lambda(R_j)$. Связность $\mathcal{G}^n(R_i, R_j)$ по определению (2) также характеризует меру возможности появления в качестве последствий R_i другого требования R_j и $0 \leq \mathcal{G}^n(R_i, R_j) \leq 1$. Следовательно, можно сделать вывод об обоснованности вычисления важности $V(R_i)$ для данного случая по формуле (6).

На основании определения (6) следует, что если в качестве последствий R_i присутствует множество других $\{R_{ik}\}$, то важность $V^n(R_i)$ вычисляется по формуле:

$$V^n(R_i) = \lambda(R_i) + \sum_{j=1}^k \mathcal{G}^n(R_i, R_{ij}) * \lambda(R_j). \quad (8)$$

Определение 7. Важность требования $R_j \mid j \in \overline{1, k}$, порождаемого требованием R_i , вычисляется по формуле:

$$V^n(R_j) = \mathcal{G}^n(R_i, R_j) * \lambda(R_j). \quad (9)$$

Согласно определению (5) важность требования R_i будет складываться из степени влияния последствий $\lambda(R_i)$ и важности требования R_j : $V^n(R_i) = \lambda(R_i) + V^n(R_j)$. С другой стороны, по определению (6) $V^n(R_i) = \lambda(R_i) + \mathcal{G}^n(R_i, R_j) * \lambda(R_j) \Rightarrow V^n(R_j) = \mathcal{G}^n(R_i, R_j) * \lambda(R_j)$.

Следствие 3. Если существует цепь субъективно связанных требований, то важность требования R_j будет определяться по формуле:

$$V^n(R_j) = \mathcal{G}(R_i, R_k) * \mathcal{G}(R_k, R_j) * \lambda(R_j). \quad (10)$$

Для доказательства согласно определению (6) рассмотрим выражение:
 $V^n(R_i) = \lambda(R_i) + \mathcal{G}^n(R_i, R_k) * V^n(R_k) = \lambda(R_i) + \mathcal{G}^n(R_i, R_k) * \lambda(R_k) +$
 $+ \mathcal{G}^n(R_i, R_k) * \mathcal{G}^n(R_k, R_j) * \lambda(R_j)$.

С другой стороны, по определению (5) имеем: $V^n(R_i) = \lambda(R_i) + V^n(R_k) + V^n(R_j) \Rightarrow$
 важность R_j $V^n(R_j) = \mathcal{G}(R_i, R_k) * \mathcal{G}(R_k, R_j) * \lambda(R_j)$.

Утверждение 2. Важность требования R_i , информационно покрывающее требования R_k и R_j будет определяться как:

$$V^n(R_i) = (\mathcal{G}(R_j, R_i) + \mathcal{G}(R_k, R_i)) * \lambda(R_i). \quad (11)$$

Для доказательства по определению (7) для пары связности (R_k, R_i) имеем $V^n(R_i) = \mathcal{G}^n(R_k, R_i) * \lambda(R_i)$. Далее для пары связности (R_j, R_i) справедливо выражение:
 $V^n(R_i) = V^n(R_i) + \mathcal{G}^n(R_j, R_i) * \lambda(R_i) = (\mathcal{G}^n(R_k, R_i) + \mathcal{G}^n(R_j, R_i)) * \lambda(R_i)$.

Таким образом, задача (1) может решаться путем последовательного вычисления по формулам (4) – (8) важности влияния последствий требований на обобщенный критерий качества проекта.

Анализ процесса управления требованиями к характеристикам качества проекта показывает, что данную задачу (1) можно декомпозировать на две последовательно решаемых задачи [4, 6]:

При решении первой задачи определяется коэффициент связности требований $\psi_{R_i}^n$ на основе рассмотрения графа связности требований G^g от вершин до листьев графа.

Алгоритм D5.1. Данный процесс происходит в следующей последовательности:

Шаг 1. Первоначально всем вершинам графа связности $G^g / \psi_{R_i}^n = 0$.

Шаг 2. Граф связности требований G^g разбивается на k деревьев с корнями в вершинах $R_j \mid j = \overline{1, k}$.

Шаг 3. Рассматривается j -е дерево приняв $\psi_{R_j}^n = 1$.

Шаг 4. Коэффициент связности для требования R_w определяется при рассмотрении деревьев графа по уровням иерархии сверху вниз по формуле:

$$\psi_{R_w}^\eta = \psi_{R_w}^\eta + \mathcal{G}(R_{w-1}, R_w) * \psi_{R_{w-1}}^\eta, \quad (12)$$

где $\mathcal{G}(R_{w-1}, R_w)$ – степень связности рисков событий R_{w-1} и R_w ;

$\psi_{R_{w-1}}^\eta$ – коэффициент связности R_{w-1} .

Алгоритм D5.2. При решении второй задачи определяется важность требований проекта на основе рассмотрения графа связности требований G^g от листьев дерева связности до корней соответствующих деревьев графа связности.

Шаг 1. Для всех листьев графа связности важность $V(R_q)$ определяется по формуле:

$$V(R_q) = \psi_{R_q}^\eta * \lambda(R_q). \quad (13)$$

Шаг 2. Далее вычисляется важность $V(R_e)$ снизу вверх по формуле:

$$V(R_e) = \psi_{R_e}^\eta * \lambda(R_e) + \sum_{i=1}^k V(R_i), \quad (14)$$

где R_i – требования, непосредственно порождаемые требованием R_e .

Выводы

Рассмотренные в работе подходы и алгоритмы к решению задачи (1), связанной с определением вектора степени важности требований к программному проекту, позволяют решить эту задачу в условиях нечеткости исходных данных. В частности представленные алгоритмы анализа требований проекта, для случая субъективной связности требований, позволяют на практике ранжировать требования по их субъективной важности и как следствие формируют необходимые исходные данные для оптимизации состава требований для каждого текущего этапа ЖЦ программного проекта [2-5].

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQ и aRE). Модели качества систем и программных продуктов.
3. ГОСТ 34.602-2020. Информационные технологии. Техническое задание на создание автоматизированной системы.
4. Таганов А.И. Основы идентификации, анализа и мониторинга проектных рисков качества программных изделий в условиях нечеткости. Монография. - М.: Горячая линия - Телеком, 2012. – 224 с.
5. Корячко В.П., Таганов А.И., Таганов Р.А. Методологические основы разработки и управления требованиями к программным системам. – М.: Горячая линия Телеком, 2009. - 224 с.
6. Таганов А.И. Применение нечетких множеств для формализации процессов анализа и идентификации важности рисков программного проекта // Системы управления и информационные технологии. 2007. № 4 (30). С. 46-51.
7. Таганов А.И. Методы идентификации, анализа и сокращения проектных рисков качества программных изделий в условиях нечеткости. Информационные технологии. 2011. № 9. С. 22-27.
8. Сафонов Ф.А., Таганов А.И., Цыцына М.И. Автоматическая классификация рисков программного проекта в условиях нечеткости // Материалы X Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы современной науки и производства». – Рязань: РГРТУ, 2025.

9. Таганов А.И. Методика анализа и сокращения рисков проектов сложных программных систем по характеристикам качества // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2010. № 31. - С. 77-82.

10. Кокунов А.А., Таганов А.И. Модельное представление типовых структур алгоритмических процессов информационных систем для задач оценки надежности и оптимизации. В сборнике: Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2023. Сборник трудов VI международного научно-технического форума: в 10 т. Рязань, 2023. С. 24 – 29.

11. Таганов А.И., Кокунов А.А. Анализ системной концепции усовершенствования процессов предприятия в соответствии с моделью СММИ // В сборнике: Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2024. Сборник трудов VII Международного научно-технического форума. В 10-ти томах. Под общей редакцией О.В. Миловзорова. Рязань, 2024. Том 6. С. 21-30.

УДК 004.94; ГРНТИ 50.53

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ МНОГОМЕРНОГО АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

А.А. Кокунов, А.И. Таганов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, kaa62r@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматриваются методологические вопросы моделирования рабочих процессов с целью оптимизации надежности процессов в ходе аттестации процессов проектной организации. Формализована задача перехода к вероятностному описанию процесса. Анализируются методы моделирования процессов жизненного цикла программного обеспечения для задач анализа и оптимизации надежности рабочих процессов проектных организаций.

Ключевые слова: жизненный цикл программных средств, информационная система, алгоритмический процесс, модели алгоритмических процессов, оператор алгоритмического процесса, оптимизация надежности алгоритмического процесса.

MODELING OF SOFTWARE LIFECYCLE PROCESSES BASED ON THE CONCEPT OF MULTIDIMENSIONAL ALGORITHMIC PROCESS

A.A. Kokunov, A.I. Taganov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, kaa62r@gmail.com*

The summary. The paper considers methodological issues of workflow modeling in order to optimize the reliability of processes during the certification of project organization processes. The problem of transition to a probabilistic description of the process is formalized. The methods of modeling software lifecycle processes for the tasks of analyzing and optimizing the reliability of work processes of project organizations are analyzed.

Keywords: life cycle of software tools, information system, algorithmic process, models of algorithmic processes, operator of algorithmic process, optimization of algorithmic process reliability.

Современный мир вступил в эпоху, которая характеризуется тотальной зависимостью от цифровых технологий и программных систем. Программное обеспечение (ПО) перестало быть вспомогательным инструментом, превратившись в критический инфраструктурный компонент, который управляет глобальными сферами нашей жизни – финансовыми потоками, обеспечивает национальную безопасность, контролирует сложные технологические процессы, поддерживает работу здравоохранения и формирует повседневную коммуникационную среду. В этом контексте качество и надежность ПО трансформируются из второстепенных условий в критически значимые требования, которые напрямую влияют на устойчивость развития, конкурентоспособность и безопасность как отдельного индивида, так и государства.

Одним из подходов к повышению качества ПО является улучшение уровня установленных в организации процессов жизненного цикла (ЖЦ) программных средств [7]. Данный подход позволяет достичь в проектной организации зрелости процессов с целью обеспечения стабильности в продуктовых решениях.

Стандартизация с сфере оценки процессов ЖЦ

Стандартом регламентирующим процессы ЖЦ ПО является ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 «Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств» (ГОСТ 12207) [1]. Одной из основных целей данного стандарта является предоставление единого подхода для определения, управления и улучшения процессов жизненного цикла ПО.

Согласно данному стандарту, все процессы жизненного цикла ПО разделяются на ряд групп процессов (процессы соглашения, процессы организационного обеспечения проекта, процессы проекта, технические процессы, процессы реализации программных средств, процессы поддержки программных средств, процессы повторного применения программных средств), каждая из которых содержит набор процессов, которые реализуются в организации-разработчике и регламентируют основные стадии ЖЦ ПО.

Современная практика показывает, что процессы стандарта не являются линейными этапами, а представляют собой набор активностей, которые могут выполняться параллельно, итерационно и с разной интенсивностью на протяжении всего проекта. Наиболее распространенные подходы нашли свое отражение в моделях ЖЦ ПО, таких как последовательная модель (Waterfall), Agile-подходы, DevOps методологии и других. Процессы, описанные в ГОСТ 12207 [1], распределяются и адаптируются под данные модели, т.о. стандарт предоставляет универсальный каркас процессов ЖЦ ПО.

Для анализа и оценки указанных процессов необходим формализованный подход к рассмотрению и моделированию рабочих процессов ЖЦ ПО, интегрированный в соответствии с рассмотренным стандартом, позволяющий оценивать надежность развернутых в организации процессов.

Концепция многомерного алгоритмического процесса

При системном анализе функционирования различных систем с дискретным поведением зачастую используется подход, заключающийся в рассмотрении системы с единых позиций на основе представления структуры системы и ее поведения в виде алгоритмического процесса (АП) [2 – 11]. При этом под алгоритмическим процессом понимается развернутая во временном пространстве последовательность действий, операций или работ, выполнение которых обеспечивает достижение цели, т. е. получение конечного результата: продукции, информации, знания и т.п. Примерами рассматриваемых АП могут являться процессы функционирования автоматизированных систем управления, технологические процессы производства, процессы выполнения научно-исследовательских работ и другие. Процессы ЖЦ ПО схожи с указанными выше и использование такого подхода для моделирования рассмотренных процессов позволяет перейти к решению задачи их анализа и оптимизации.

Также следует учитывать, что в процессах, регламентированных ГОСТ 12207, возможно возникновение различных типов ошибок для которых разнятся вероятности их внесения и обнаружения, а также вероятность, время и стоимость их устранения. Для этого вводится принцип многомерности АП, который предполагает использование многомерной концепции учета ошибок. Данная концепция в отличие от бинарной позволяет различать выполнение алгоритма с ошибками разных типов, для которых различаются указанные выше показатели (вероятности, время и стоимость их устранения).

Формирование модели процесса

Рассмотрим последовательность операций процесса состоящую из выполнения работы, последующей проверки и в случае обнаружения ошибки в ходе проверки – ее исправления. Тогда такой процесс можно представить в виде

$$B = A_{\omega}(E \vee U)$$

где A – рабочая операция;

ω – контроль правильности выполнения операции A ;

E – тождественный оператор (вводится для перехода к следующему этапу АП);

U – доработка (исправление) дефектов, выявленных при контроле ω .

Таким образом для анализа подобных процессов необходимо описать модельное представление 4 основных операторов – рабочего оператора, оператора контроля, оператора доработки и тождественного оператора.

Модельное представление представляет собой матрицу модели надежности, сформированную на основе графа переходов оператора [2, 4]. Основные показатели представляют собой статистические данные или экспертные оценки для:

- p_A^1 – вероятности корректного выполнения оператора A ;

- p_A^{0i} – вероятности внесения ошибки i -го типа;

- v_U^{1i} (v_U^{0i}) – вероятности устранения (неустранения) ошибки i -го типа при выполнении доработки;

- k_{ω}^{11} (k_{ω}^{10}) – вероятности того, что отсутствие ошибок идентифицировано правильно (неправильно);

- k_{ω}^{00i} (k_{ω}^{01i}) – вероятности обнаружения (пропуска) ошибки i -го типа.

Также для каждого оператора фиксируется его время и стоимость выполнения – t_{A_i} и c_{A_i} соответственно.

Тождественный оператор представляет собой единичную матрицу и не влияет на характеристики процесса. Формирование матриц остальных операторов представлено на рисунке 1.

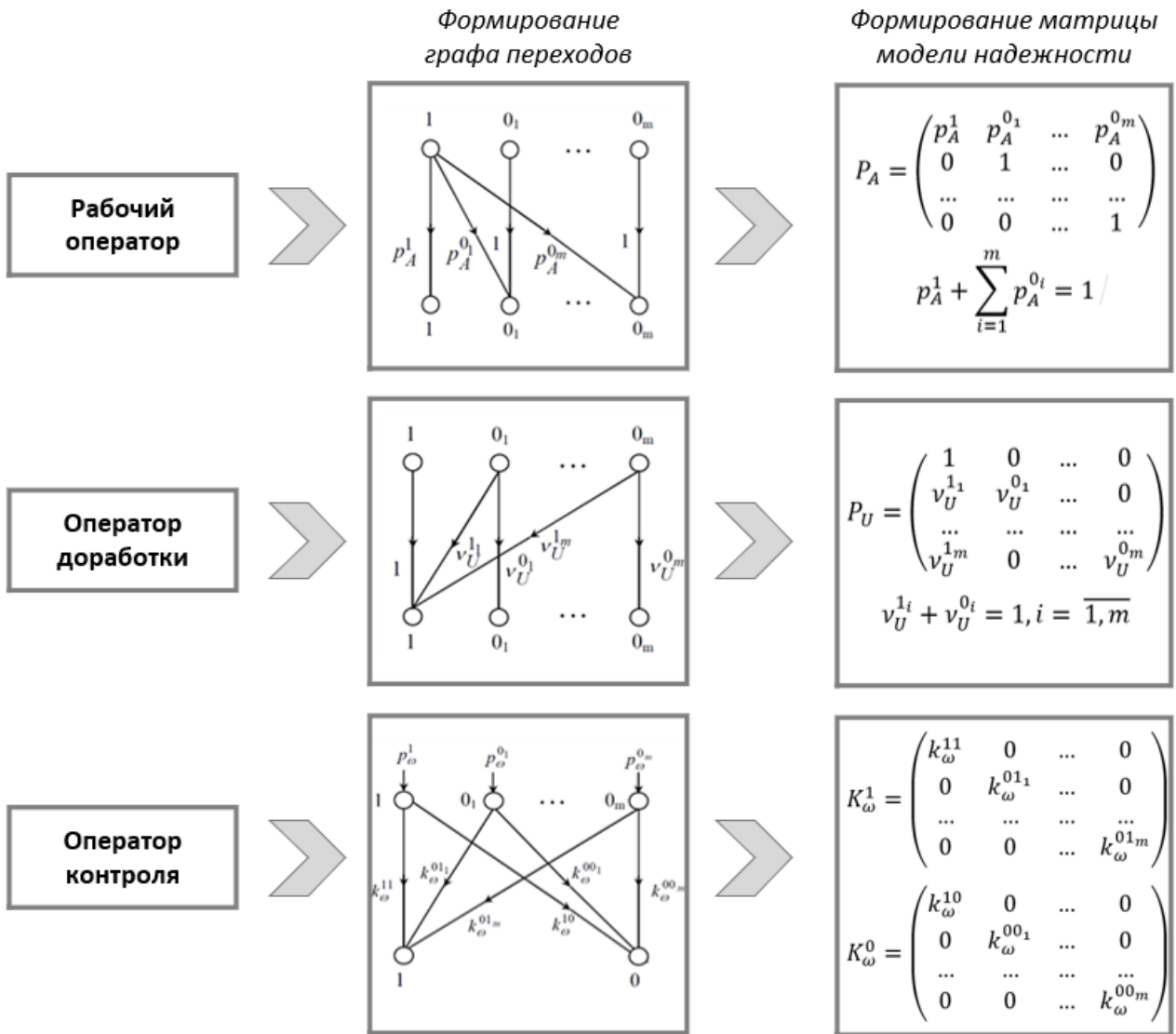


Рис. 1. Формирование матриц модели надежности

Таким образом АП представляет собой связанный набор вершин, для каждой из которых сформирована матрица модели надежности. Следующим этапом для получения характеристик процесса является сворачивание АП до единой матрицы – матрицы модели надежности процесса. Для этого выделяются типовые алгоритмические структуры. Типовыми алгоритмическими структурами называют часто встречающиеся комбинации операторов и логических условий, для которых получены математические модели, позволяющие заменить их единичными операторами с эквивалентными характеристиками надежности [3, 4]. Рассмотрим 2 типовые структуры – последовательную и структуру «работа-контроль-доработка», соответствующую рассмотренному ранее примеру.

Последовательная структура (композиция) представляет собой наиболее распространенный случай, когда операторы выполняются последовательно друг за другом. Граф-схема данной структуры изображена на рисунке 2.

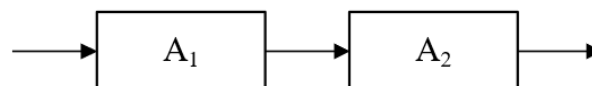


Рис. 2. Граф-схема композиции

Обозначение данной структуры и её эквивалентные характеристики с учетом сформированных матриц модели надежности P_{A_1} (см. рис. 1) примут вид:

$$\begin{aligned} B &= A_1 A_2; \\ P_B &= P_{A_1} \cdot P_{A_2}; \\ t_B &= t_{A_1} + t_{A_2}; \\ c_B &= c_{A_1} + c_{A_2}. \end{aligned}$$

Структура «работа-контроль-доработка» представляет собой рассмотренный ранее случай когда после выполнения рабочей операции выполняется контроль и в случае обнаружения ошибки – доработка. Граф-схема данной структуры изображена на рисунке 3.

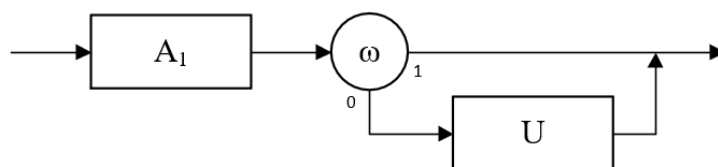


Рис. 3. Граф-схема «работа-контроль-доработка»

Обозначение данной структуры и её эквивалентные характеристики с учетом сформированных матриц модели надежности P_{A_1} , K_{ω}^1 , K_{ω}^0 и P_U (см. рис. 1) примут вид:

$$\begin{aligned} F &= A_1_{\omega} (E \vee U); \\ P_F &= P_{A_1} \cdot K_{\omega}^1 + P_{A_1} \cdot K_{\omega}^0 \cdot P_U; \\ t_F &= t_{A_1} + t_{\omega} + b_{\omega} \cdot t_U; \\ c_F &= c_{A_1} + c_{\omega} + b_{\omega} \cdot c_U, \end{aligned}$$

где b_{ω} – вероятность нахождения ошибки, в том числе ложной, контролем ω .

После использования указанных формул эквивалентных характеристик получаем итоговую матрицу модели надежности всего процесса аналогичную матрице оператора, т.е. состоящую из вероятности безошибочного выполнения и вероятностей рассматриваемых типов ошибок, а также показатели времени и стоимости выполнения процесса целиком (рассчитанные с учетом вероятностей обнаружения ошибок).

Общий алгоритм формирования модели процесса представлен на рисунке 4.

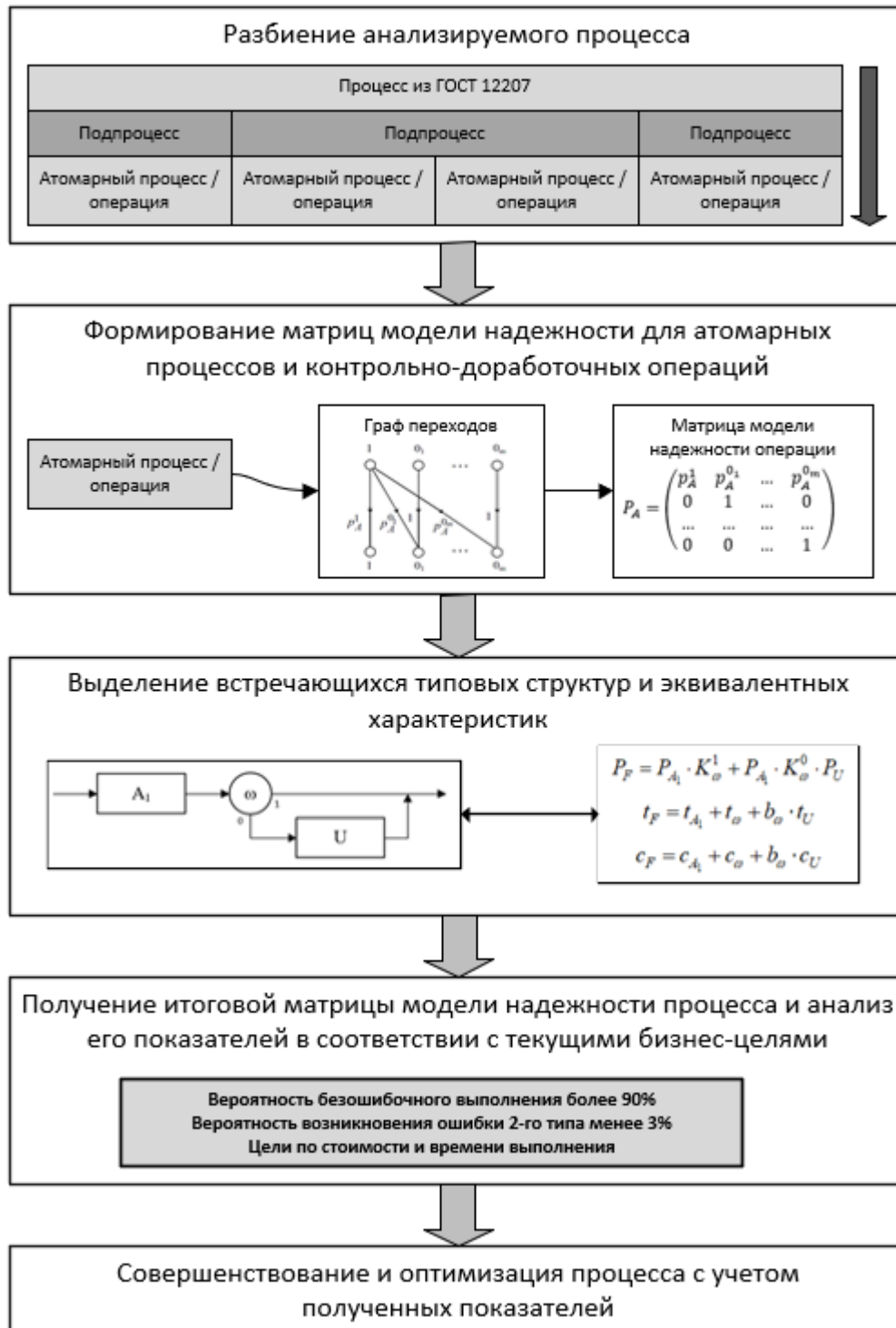


Рис. 4. Алгоритм формирования модели процесса

Результаты и выводы

Использование рассмотренного модельного представления рабочего процесса жизненного цикла программного обеспечения позволяет анализировать показатели надежности процесса с учетом критичности различных типов ошибок, а также показатели стоимости и времени выполнения с учетом вероятностных характеристик операторов контроля.

Также данная модель позволяет перейти к решению задачи оптимизации расстановки контрольно-доработочных операций [8, 9] для достижения целевых надежностных показателей при минимизации ресурсных показателей.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. – Введ. 2012-03-01. – М. : Стандартинформ, 2011. – V, 100 с. – (Национальный стандарт Российской Федерации). – Текст : непосредственный.
2. Кокунов А.А., Таганов А.И. Модельное представление операторов алгоритмических процессов информационных систем для задач оценки надежности и оптимизации. В сборнике: Материалы VII Всероссийской научно-технической конференции. – Рязань, 2022. С. 210 – 218.
3. Кокунов А.А., Таганов А.И. Модельное представление типовых структур алгоритмических процессов информационных систем для задач оценки надежности и оптимизации. В сборнике: Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2023. Сборник трудов VI международного научно-технического форума: в 10 т. Рязань, 2023. С. 24 – 29.
4. Ротштейн А.П., Штовба С.Д., Козачко А.Н. Моделирование и оптимизация надежности многомерных алгоритмических процессов. – Винница: «УНИВЕРСУМ-Вінниця», 2007. – 215 с.
5. Таганов А.И., Гильман Д.В. Методологические основы анализа и аттестации уровней зрелости процессов программных проектов в условиях не-четкости. М.: Горячая линия – Телеком, 2013. - 168 с.
6. Ротштейн А. П., Штовба С. Д. Нечеткая надежность алгоритмических процессов. – Винница: Континент – ПРИМ, 1997.– 142 с.
7. Таганов А.И. Методика анализа и сокращения рисков проектов сложных программных систем по характеристикам качества // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2010. № 31. - С. 77-82.
8. Кокунов А.А., Таганов А.И. Задача оптимизации контролей в многомерных алгоритмических процессах информационных систем. В сборнике: Актуальные проблемы современной науки и производства. Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции. Рязань, 2024. – С. 372 – 378.
9. Кокунов А.А. Оптимизация надежности алгоритмических процессов. В книге: Новые технологии в учебном процессе и производстве. Сборник тезисов 22 Международной научно-технической конференции, посвящённой 90-летию со дня рождения Ю.А. Гагарина. Рязань, 2024. - С. 568-570.
10. Перепелкин Д.А., Фам А.М. Математические модели планирования упорядоченного набора операций для распределения разнородных ресурсов в промышленных телекоммуникационных сетях // Вестник РГРТУ. 2022. Выпуск 79. - С. 56-67.
11. Псоянц В.Г. Методика обеспечения устойчивости процессов программного проекта к рискам в условиях нечеткости // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2017. № 59. - С. 66-74.

УДК 004.94; ГРНТИ 50.53

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ В РАМКАХ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

А.А. Кокунов, А.И. Таганов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, kaa62r@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматриваются методологические вопросы моделирования процессов жизненного цикла программного обеспечения с целью анализа качества и надежности процессов в ходе аттестации процессов проектной организации. Формализована задача перехода к вероятностному описанию процесса. Анализируются методы моделирования процессов жизненного цикла программного обеспечения для задач мониторинга показателей качества рабочих процессов проектных организаций.

Ключевые слова: жизненный цикл программных средств, алгоритмический процесс, модели алгоритмических процессов, оператор алгоритмического процесса, оптимизация надежности алгоритмического процесса, мониторинг качества и надежности.

ALGORITHMIC PROVISION OF RELIABILITY ANALYSIS IN THE FRAMEWORK OF LIFE CYCLE PROCESS MONITORING SOFTWARE

A.A. Kokunov, A.I. Taganov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, ka62r@gmail.com

The summary. The paper considers methodological issues of modeling the processes of the software life cycle in order to analyze the quality and reliability of processes during the certification of the processes of the project organization. The task of transition to a reliable description of the process is formalized. Methods of modeling software lifecycle processes for the tasks of monitoring the quality indicators of work processes of design organizations are analyzed.

Keywords: software lifecycle, algorithmic process, algorithmic process models, algorithmic process operator, algorithmic process reliability optimization, quality and reliability monitoring.

Растущая системная сложность программного обеспечения (ПО) и стремительная эволюция технологий его создания ПО (распределенные команды, Agile-методологии, DevOps-практики, искусственный интеллект в разработке) создают условия, где традиционные подходы к оценке процессов жизненного цикла (ЖЦ) ПО, занимающие продолжительное время и требующие объемных трудозатрат квалифицированных кадров, становятся не просто неэффективными, но и контрпродуктивными, задерживая выпуск и увеличивая стоимость. Вследствие этого организации уделяют все меньше внимания показателям качества как процессов разработки, так и самого продукта и мы видим все большее число недоработок и ошибок в ПО.

Одним из стандартов, регламентирующим постоянное совершенствование организации, является ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования». Данный стандарт устанавливает принцип «Процессного подхода». Процессный подход включает в себя систематическое определение и менеджмент процессов и их взаимодействия таким образом, чтобы достигать намеченных результатов в соответствии с политикой в области качества и стратегическим направлением организации. Таким образом постоянный мониторинг и анализ процессов является важной задачей требующей внимания в области управления процессами ЖЦ ПО [5].

«Каркас» процессов ЖЦ ПО регламентируется стандартом ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 «Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств» [1]. Оценка указанных в данном стандарте процессов – это систематический анализ и измерение зрелости и эффективности процессов разработки, управления и сопровождения ПО. Это один из ключевых инструментов для повышения качества продукции, предсказуемости сроков и снижения рисков.

В практике для оценки процессов используют подход, описанный в серии стандартов ГОСТ Р ИСО/МЭК 15504 «Информационные технологии. Оценка процесса», которая в настоящее время получила свое развитие в серии стандартов ГОСТ Р ИСО/МЭК 33000 «Информационные технологии. Оценка процесса» [2]. В данной серии стандартов имеется ГОСТ Р ИСО/МЭК 33020 «Информационные технологии. Оценка процесса. Система измерения процесса для оценки возможностей процесса», который устанавливает шестиуровневую шкалу (от 0 до 5) возможностей развернутых процессов. Каждый последующий уровень включает и расширяет требования предыдущего. Требования заданы в виде свойств процесса (process attributes) – измеримых характеристик, которые необходимо продемонстрировать для достижения каждого уровня. Одним из наиболее сложных и критически важных этапов в эволюции зрелости организации является уровень 4 – «Предсказуемый процесс». Этот переход знаменует собой качественный скачок от качественного, описательного управления к количественному, статистически обоснованному управлению процессами. Одно из дополнительных свойств процесса – РА 4.1 «Количественный анализ» – определение метрик и целей

на основе данных. Для реализации данного свойства предлагается подход к анализу надежности и мониторингу рабочих процессов ЖЦ ПО на основе анализа их функциональной структуры, собранных количественных метрик и моделирования надежности рабочих процессов на основе их представления в виде многомерных алгоритмических процессов (АП).

Моделирование процессов ЖЦ ПО

Указанный подход рассмотрения систем с единых позиций на основе представления структуры системы и ее поведения в виде АП достаточно хорошо проработан и формализован [3, 4]. Примерами таких систем являются функционирование автоматизированных систем управления, процессы выполнения научно-исследовательских работ и выполнение технологических процессов. Процессы ЖЦ ПО схожи с указанными выше и использование такого подхода для моделирования рассмотренных процессов позволяет перейти к решению задачи их анализа на основе статистических данных и метрик.

Также данный подход позволяет учитывать сложность и многовариативность ошибок которые могут возникать в ходе выполнения процессов ЖЦ ПО. Для этого применяется многомерная концепция учета ошибок.

Переход к модельному описанию процесса представлен на рисунке 1.

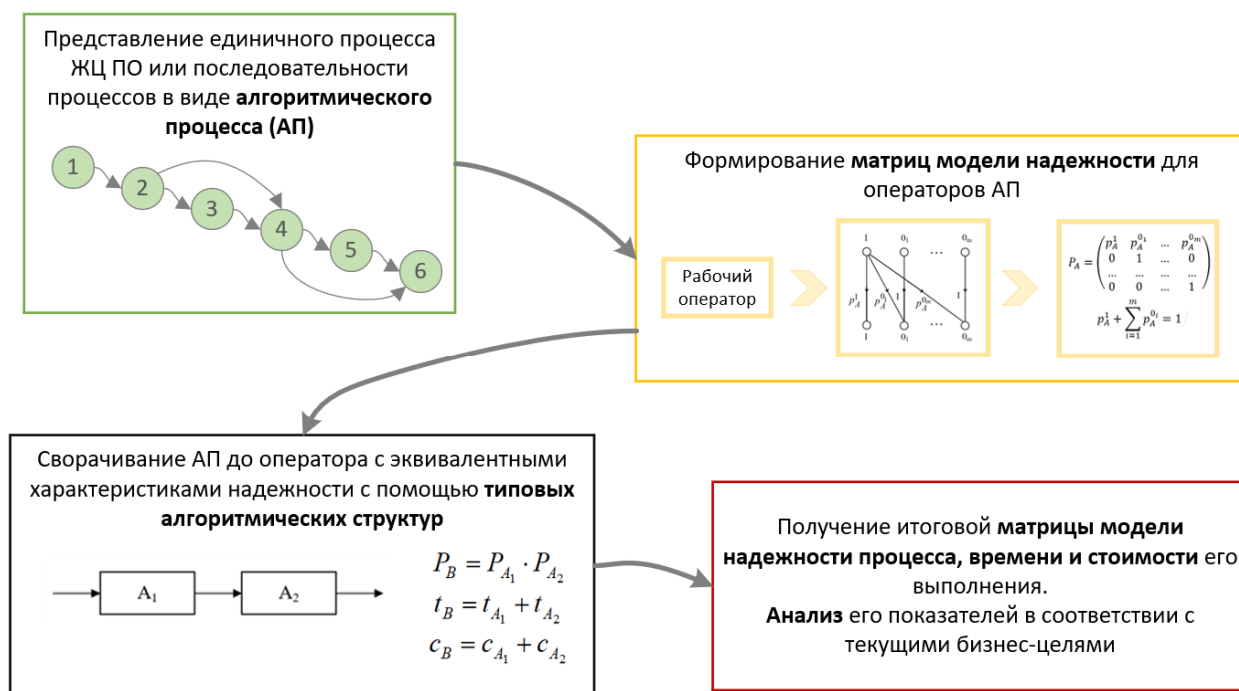


Рис. 1. Формирование модели процесса

Итоговая матрица модели надежности [3] будет содержать вероятность безошибочного выполнения всего процесса и вероятности его завершения с каждым из анализируемых типов ошибок (см. рисунок 2).

$$P = \begin{pmatrix} p^1 & p^{0_1} & \dots & p^{0_m} \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Рис. 2. Матрица модели надежности процесса

Алгоритм анализа процессов ЖЦ ПО

На основе рассмотренной модели создана программа, в которой реализован алгоритм мониторинга и анализа процессов ЖЦ ПО.

Процедура формирования математических моделей рассматриваемого рабочего процесса и последующего анализа его показателей надежности представляет собой линейную последовательность действий, состоящую из следующих этапов:

- 1) подключение к базе данных и считывание актуальных на текущий момент статистической информации о процессе;
- 2) формирование моделей операторов процесса – матриц модели надежности рабочих операторов, операторов контроля и доработки;
- 3) расчет анализируемых показателей процесса – стоимости и времени выполнения, а также матрицы модели надежности процесса, включающую показатели вероятности безошибочного выполнения и вероятности внесения ошибок рассматриваемых типов с использованием следующих выражений:

$$\left\{ \begin{array}{l} P(X) = \prod_{i=1,n} P_{A_i} \text{ – для матрицы модели надежности процесса;} \\ C(X) = \sum_{i=1,n} c_{A_i}(x_i) \text{ – для стоимости выполнения процесса;} \\ T(X) = \sum_{i=1,n} t_{A_i}(x_i) \text{ – для времени выполнения процесса;} \end{array} \right.$$

- 4) обновление информации в интерфейсе и визуализация данных в виде диаграмм и графиков. Для случая мониторинга – выделение изменений параметров относительно предыдущего вычисления.

Таким образом реализацию функции мониторинга можно представить в виде алгоритма, изображенного на рисунке 3. При этом периодичность таймера задается в интерфейсе через окно настроек приложения, а запуск/остановка мониторинга осуществляется из основного окна.

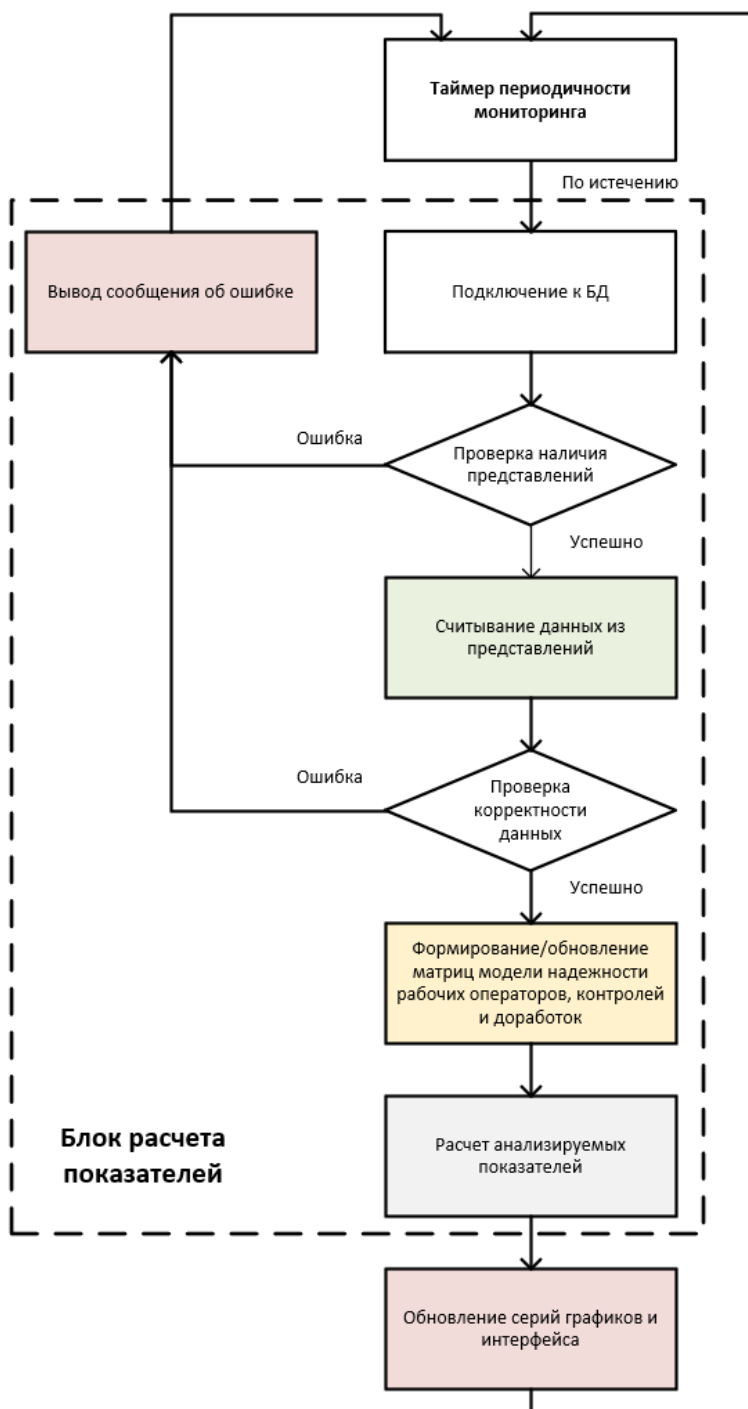


Рис. 3. Алгоритм мониторинга процесса ЖЦ ПО

Пример интерфейса для визуализации результатов мониторинга представлен на рисунке 4. В поле сообщений отображаются результаты вычисления показателей анализируемого процесса, в поле характеристики процесса в табличном виде отображаются показатели надежности предыдущего и текущего выполнения с выделением цветом положительной и отрицательной динамики. В поле графики и диаграммы отображается круговая диаграмма вариантов завершения процесса.

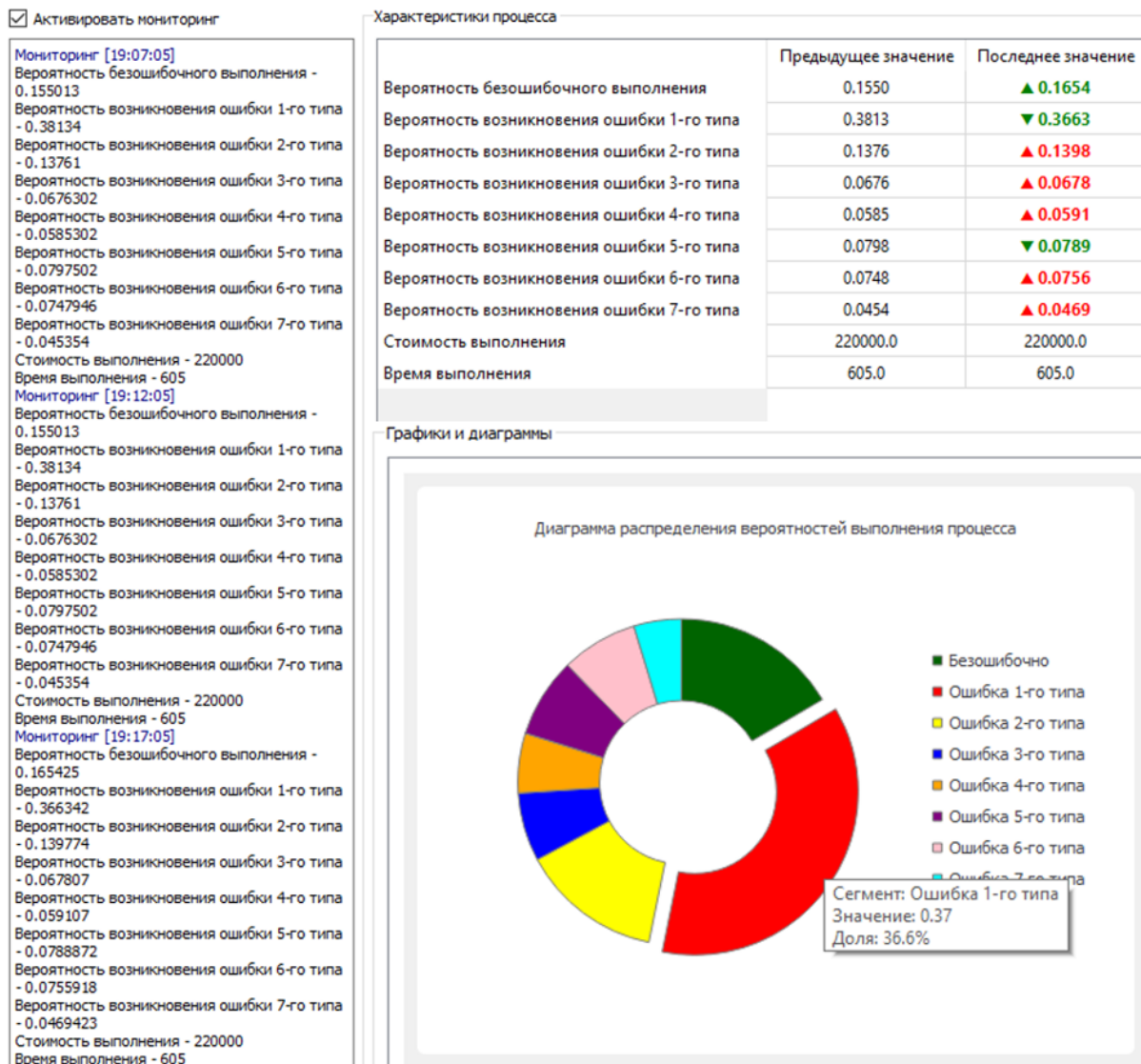


Рис. 4. Интерфейс мониторинга процесса ЖЦ ПО

Результаты и выводы

Рассмотренный алгоритм анализа процессов ЖЦ ПО на основе его модельного представления в виде алгоритмического процесса формализованного матричными моделями надежности позволяет анализировать показатели надежности рабочих процессов с учетом критичности различных типов ошибок, а также показатели стоимости и времени выполнения. Программная реализация данного алгоритма позволяет оптимизировать и автоматизировать задачу «Количественного анализа» и реализовать непрерывный мониторинг наиболее урчитичных процессов ЖЦ ПО.

В случае несоответствия характеристик заданным целям рассмотренное модельное представление позволяет перейти к решению задачи оптимизации АП для достижения целевых надежностных показателей при минимизации ресурсных показателей [6 - 9].

Библиографический список

- ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. – Введ. 2012-03-01. – М. : Стандартинформ, 2011. – V, 100 с. – (Национальный стандарт Российской Федерации). – Текст : непосредственный.

2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 33001-2017. Информационная технология. Оценка процесса. Понятия и терминология. – Введ. 2018-03-01. – М. : Стандартинформ, 2017. – VI, 16 с. – (Национальный стандарт Российской Федерации). – Текст : непосредственный.

3. Кокунов А.А., Таганов А.И. Модельное представление типовых структур алгоритмических процессов информационных систем для задач оценки надежности и оптимизации. В сборнике: Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2023. Сборник трудов VI международного научно-технического форума: в 10 т. Рязань, 2023. - С. 24 – 29.

4. Ротштейн А.П., Штовба С.Д., Козачко А.Н. Моделирование и оптимизация надежности многомерных алгоритмических процессов. – Винница: «УНИВЕРСУМ-Вінниця», 2007. – 215 с.

5. Таганов А.И. Методика анализа и сокращения рисков проектов сложных программных систем по характеристикам качества // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2010. № 31. - С. 77-82.

6. Кокунов А.А., Таганов А.И. Задача оптимизации контролей в многомерных алгоритмических процессах информационных систем. В сборнике: Актуальные проблемы современной науки и производства. Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции. Рязань, 2024. – С. 372 – 378.

7. Кокунов А.А. Оптимизация надежности алгоритмических процессов. В книге: Новые технологии в учебном процессе и производстве. Сборник тезисов 22 Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Ю.А. Гагарина. Рязань, 2024. - С. 568-570.

8. Перепелкин Д.А., Фам А.М. Математические модели планирования упорядоченного набора операций для распределения разнородных ресурсов в промышленных телекоммуникационных сетях // Вестник РГРТУ. 2022. Выпуск 79. - С. 56-67.

9. Псоянц В.Г. Методика обеспечения устойчивости процессов программного проекта к рискам в условиях нечеткости // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2017. № 59. - С. 66-74.

УДК 004.627; ГРНТИ 50.05.03

НЕЙРОСЕТЕВАЯ КОРРЕКЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНЫХ ИСКАЖЕНИЙ НА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

К.И. Соколов*, Н.В. Макарова**

* Военное представительство, Российская Федерация, Рязань, skisokolow@yandex.ru

** Рязанский государственный университет радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, Российская Федерация, Рязань, makarova.n.v@rsreu.ru

Аннотация. В работе рассматривается возможность коррекции смаза и расфокусировки на спутниковых изображениях с помощью сверточных нейронных сетей. Приведены математические модели, описывающие смаз и расфокусировку. Предложена структура глубокой сверточной сети DCNN. Приведен пример работы алгоритма, который демонстрирует лучшие показатели по сравнению с классической Винеровской фильтрацией.

Ключевые слова: смаз, расфокусировка, спутниковые изображения, сверточная нейронная сеть.

NEURAL NETWORK CORRECTION OF SPATIAL-FREQUENCY DISTORTIONS IN SATELLITE IMAGES

К.И. Соколов*, Н.В. Макарова**

* Military representation, Russia, Ryazan, skisokolow@yandex.ru

** Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Russia, Ryazan, makarova.n.v@rsreu.ru

The summary. This paper examines the possibility of correcting blur and defocus in satellite images using convolutional neural networks. Mathematical models describing blur and defocus are presented. The structure of a deep convolutional network (DCNN) is proposed. An example of the algorithm's operation is presented, demonstrating superior performance compared to classical Wiener filtering.

Keywords: blur, defocus, satellite images, convolutional neural network.

В системах наблюдения Земли часто развертка изображения в строчном направлении осуществляется за счет полета космического аппарата (КА), а в кадровом направлении – за счет опроса элементов ПЗС-матрицы, установленной перпендикулярно траектории полета.

При съемке Земли в поле зрения строк с номерами $N, \dots, 2, 1$ последовательно попадают одни и те же объекты подстилающей поверхности. При каждом опросе ПЗС-матрицы в течение времени τ осуществляется интегрирование лучистой энергии, после чего информация с $(i+1)$ -й строки переписывается в i -ю строку, а с первой ПЗС-строки снимается выходная информация [1]. Таким образом реализуется режим съемки с временной задержкой и накоплением видеосигнала (ВЗН).

Если за время периода T между опросами ПЗС-матрицы спутник смещается на расстояние Δ , и расстояние L между проекциями пикселей на Землю совпадает с этим смещением $\Delta = L$, то каждая строка матрицы «видит» одни и те же объекты, и на выходе матрицы формируется сумма соответствующих сигналов. За счет этого достигается многократное увеличение отношения сигнал/шум. Если скорость движения КА не согласована с периодом опроса ПЗС-матрицы, то возникают пространственно-частотные искажения типа «смаз».

Параметры фокальной плоскости оптической системы зависят от высоты полета спутника и размеров ПЗС-матрицы. В процессе вывода спутника на орбиту и его штатной эксплуатации происходят неизбежные деформации фокальной плоскости. В результате на изображениях возникают пространственно-частотные искажения типа расфокусировки.

Математическая модель, описывающая смаз и расфокусировку спутниковых изображений от современных ВЗН-датчиков имеет вид:

$$B'(\xi, \eta) = G(\xi, \eta) \otimes F(\xi, \eta) \otimes S(\xi, \eta), \quad (1)$$

$$G(\xi, \eta) = \sum_{v=0}^{N-1} \delta(\xi - vV_x / f) \delta(\eta - v(\Delta_y + V_y / f)), \quad (2)$$

$$B(m, n) = B'(\xi, \eta), \quad \xi = \Delta_x n + V_x m / f, \quad \eta = V_y m / f, \quad (3)$$

где $S(\xi, \eta)$ – исходное (истинное) изображение подстилающей поверхности в некоторой промежуточной системе координат ξ, η ;

\otimes – операция свертки;

$F(\xi, \eta)$ – двумерная функция рассеяния точки (ФРТ), описывающая расфокусировку изображения оптической системой датчика;

$G(\xi, \eta)$ – двумерная ФРТ, описывающая смаз ВЗН;

f – частота опроса строк матрицы;

N – число шагов накопления ВЗН;

Δ_y – расстояние между строками ВЗН - матрицы в фокальной плоскости;

V_x, V_y – скорости бега изображения в фокальной плоскости;

δ – дельта-функция;

$B(m, n)$ – регистрируемое датчиком изображение.

Здесь сначала истинное изображение пространственно-частотно искажается оптикой с функцией рассеяния точки $F(\xi, \eta)$, затем смазывается функцией рассеяния точки (2) и геометрически искажается в соответствии с (3).

Таким образом, основные виды пространственно-частотных искажений спутниковых изображений – смаз ВЗН и расфокусировка оптики. Следует отметить, что данные искажения наиболее сильно проявляются после запуска КА в самом начале летных испытаний, когда аппаратура ещё не настроена оптимальным образом. В ходе летных испытаний осуществляется настройка оптики, оптимизируется работа бортовой системы управления движением КА за счет уточнения элементов внешнего и внутреннего ориентирования и установочных параметров навигационных систем, в результате в большинстве случаев пространственно-частотные искажения уменьшаются до заложенного проектом уровня. Однако коррекция ис-

кажений на изображениях тоже может быть применена, например, в период, пока донастройка ещё не выполнена или уже не может быть выполнена.

Модель искажений в простейшем линейном случае (при отсутствии перегрузок сквозного тракта слишком сильным сигналом) имеет вид:

$$y = x \otimes H + e, \quad (4)$$

где y – регистрируемое изображение на выходе датчика;

x – идеальное изображение, которое сформировал бы идеальный датчик, не имеющий искажений;

\otimes – операция свертки;

H – импульсная характеристика фильтра, описывающего пространственно-частотные искажения (ядро искажений);

e – случайный шум датчика.

На практике H описывается комбинацией ФРТ расфокусировки и смаза.

Задача обращения (4) является некорректно поставленной и не имеет однозначного решения. Нейронные сети в этом смысле являются весьма перспективными, поскольку обучение нейронной сети на примерах является естественным процессом извлечения информации о реальных (естественных) изображениях [2]. Формально оценка исходного изображения описывается выражением:

$$\tilde{x} = f(y, H, \theta), \quad (5)$$

где f – некоторая сложная нелинейная функция, описывающая работу нейросети;

θ – набор параметров нейросети, которые подбираются в процессе её обучения.

Критерием обучения нейронной сети естественно выбрать близость восстановленного изображения к истинному, т.е. минимум разности $x - f(y, H, \theta)$. При данном подходе нейросеть обучают на синтетическом наборе данных, беря разнообразные четкие изображения x и формируя на их основе искаженные по (4).

Конкретным воплощением описанного нейросетевого подхода является алгоритм с использованием глубокой сверточной нейронной сети с несколькими слоями (DCNN) [3]. Алгоритм DCNN в минимальной конфигурации использует свёрточную сеть относительно простой структуры:

$$h_1 = \sigma(W_1 \otimes y + b_0), \quad h_2 = \sigma(W_2 \otimes h_1 + b_1), \quad \tilde{x} = W_3 \otimes h_2, \quad (6)$$

где W_i – веса отображения слоя $i-1$ в слой i ;

b_i – смещения;

$\sigma(\cdot)$ – нелинейная функция, например, гиперболический тангенс.

Сеть (6) даёт более качественные результаты, чем классическая Винеровская фильтрация, а также многие методы на основе моделей (рисунок 1).



Рис. 1. Исходное расфокусированное изображение (слева), результат Винеровской фильтрации (в центре) и результат нейросетевого алгоритма (справа)

Библиографический список

1. Еремеев В.В., Егошкин Н.А. Коррекция смаза изображений в системах космического наблюдения Земли // Цифровая обработка сигналов. – 2010. – №4. С. 28-32.
2. Zhang K., Zuo W., Gu S., Zhang L. Learning deep CNN denoiser prior for image restoration // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition – 2017.
3. Xu L., Ren J.S., Liu C., Jia J. Deep convolutional neural network for image deconvolution // Advances in Neural Information Processing Systems – 2014. – P.1790-1798.

УДК 520.68; ГРНТИ 47.13.07

ПРЕДПОЛЕТНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ПОИСКОВЫХ БИНАРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, РАБОТАЮЩИХ В ТОЧКАХ ЛАГРАНЖА С ПОМОЩЬЮ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННОЙ ПЫЛИ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ ФРАГМЕНТОВ МЕТЕОРИТНОГО ДОЖДЯ ДРОНИНО

В.А. Линьков, С.Ю. Гаськова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, linkov.v.a@rsreu.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются предполетное тестирование поисковых бинарных космических аппаратов (БКА), работающих в точках Лагранжа L4, L5, планет входящих в Солнечную систему, с помощью микроструктурированной пыли, полученной из фрагментов метеоритного дождя Дронино, и расширение функциональных возможностей БКА с помощью многоматричных мультивекторных реконфигурируемых двигательных систем.

Ключевые слова: предполетное тестирование, многоматричная мультивекторная двигательная система, бинарный космический аппарат.

PRE-FLIGHT TESTING OF BINARY SEARCH SPACECRAFT OPERATING AT LAGRANGE POINTS USING MICROSTRUCTURED DUST OBTAINED FROM FRAGMENTS OF THE DRONINO METEORITE SHOWER

V.A. Linkov, S.Yu. Gaskova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, linkov.v.a@rsreu.ru*

Abstract. This paper examines pre-flight testing of binary search spacecraft (BSC) operating at the L4 and L5 Lagrange points of planets in the Solar System using microstructured dust obtained from fragments of the Dronino meteorite shower and expanding the BSC's functionality with multi-matrix multi-vector reconfigurable propulsion systems.

Keywords: pre-flight testing, multi-matrix multi-vector propulsion system, binary spacecraft.

Концепция поиска новых внеземных материалов основана на том, что в гравитационных колодцах, которыми являются окрестности точек Лагранжа L4, L5 (точки либрации), например, системы Земля-Луна, скапливаются образованные за миллионы лет пылеобразные микро и наноразмерные структуры внеземного происхождения. Это уникальные места для космической микроархеологии, поиска и сбора микрообъектов, не встречающихся на Земле. В отличие от частиц, которые попали на околоземные орбиты и со временем сгорели в атмосфере Земли, микроразмерные частицы, попавшие в точки Лагранжа L4, L5 (к которым не прикладывается дополнительная энергия для выхода из гравитационного колодца) могут находиться там миллионы лет. Для отдельного сбора микрообъектов с разными физическими свойствами положен принцип притягивания микрообъектов электромагнитными или электростатическими ловушками, размещенными на гибкой поверхности бинарных космических аппаратов (БКА), образующих новый класс космических аппаратов для осуществления поиска, сбора и консервации собранных микро и наночастиц сосредоточенных в окрестностях точек Лагранжа L4, L5, где в гравитационных колодцах планет Солнечной системы находятся

устойчивые скопления малых космических тел (например, пылеобразные облака Кордылевского). Анализ собранного внеземного вещества возрастом в миллионы лет с физико-химическими свойствами, неизвестными на Земле, позволит синтезировать функциональные наночастицы с новыми свойствами для квантовых технологий.

БКА состоит из двух корпусов цилиндрической формы, на торцах которых размещены дисковые лазерные дальномеры и матричные мультивекторные двигатели (ММДС), для осуществления реверсивного вращения цилиндрических корпусов и коррекции траектории полета БКА. Между корпусами расположена гибкая подложка (ГП), на одной стороне которой расположены гибкие солнечные батареи (СБ), а на другой контейнеры с жесткими микроподложками для сбора и герметизации втянутых наночастиц. ГП в исходном состоянии смотана в рулон на одном из корпусов БКА. При начале поиска наночастиц в окрестностях точек либрации ММДС начинают вращать корпуса БКА и отводить их друг от друга, разматывая и натягивая гибкое полотно. Длина растягиваемой ленты ГП контролируется с помощью 4 лазерных дальномеров с разной кодировкой посылок и разными длинами волн излучения, для защиты от сбоев при активных и пассивных засветках при ориентации одной поверхности полотна с СБ на солнце. Рулонная организация тонкослойных гибких солнечных элементов наиболее эффективна для получения электроэнергии в дальнем космосе при тусклом солнечном свете. Большая площадь разматываемой гибкой ленты с размещенными на ней СБ ограничивается толщиной подложки и расстоянием устойчивой работы лазерных дальномеров в космосе. Большое количество электроэнергии необходимо для создания электростатических и электромагнитных полей, притягивающих наночастицы с разными физико-химическими свойствами, на жесткие микроподложки для осуществления отдельного сбора в отдельные герметизируемые маркированные планарные контейнеры на ГП для последующего автоматизированного анализа собранного материала в лаборатории атомно-силовой и зондовой микроскопии.

В качестве материала для тестирования ловушек БКА наиболее вероятным материалом, который можно встретить в космосе, был выбран доступный в Рязанской области материал внеземного происхождения, упавший на землю в виде метеоритного железа в составе известного метеоритного дождя Дронино, найденного в Рязанской области, в Касимовском районе, возле населенного пункта Дронино в 2000 году, состоящего из множества осколков общей найденной массой около трех тон. Для создания тестового облака с магнитными свойствами требуется несколько грамм метеоритного железа, которое измельчается для получения субмикронных порошков, например, с помощью лабораторной шаровой или планетарно-центробежной мельницы. В облаке для тестирования должны находиться частицы, обладающие реакцией на магнитное поле, которые в окрестностях точек либрации должны притягиваться из космоса с определенного расстояния на поверхность жесткой подложки, размещенной в контейнере с определенным идентификационным номером, и с последующей герметизацией в космосе аналогичные тесовым структуры. При этом конфигурации электрических полей соседних ловушек не должны конфликтовать между собой, чтобы не нарушить первоначальную топологию магнитных полей собираемых космических микрообъектов. Мощность магнитного поля, создаваемого магнитной ловушкой, рассчитана на среднюю величину процентного содержания магнитных компонентов в химическом составе вещества втягиваемых микрообъектов. Тестирование позволяет определить минимальные размеры вещества для выполнения химического анализа микрообъектов с необходимой точностью, и минимальную концентрацию магнитных компонентов для захвата и втягивания микрообъекта в герметизируемый контейнер с определенного расстояния в вакууме. Для создания подобных облачных структур так же могут быть использованы композиции порошков с магнитными свойствами, применяемые при изготовлении тонеров и порошки, используемые в порошковой металлургии с близкими магнитными характеристиками. При работе следует строго соблюдать технику безопасности, так как частицы размером менее 4000 нанометров

способны проникать в поры кожи, ткани глаз и легких. Для анализа исходного взвешенного материала выбран растровый электронный микроскоп с функцией энергодисперсионной спектроскопии (EDS). Эта функция необходима для проведения анализа химического состава микроразмерного взвешенного вещества, так как позволяет определить качественный и количественный элементарный состав материала с минимальным размером от 500 нм до 4000 нм в зависимости от локальности микроскопа. На рисунке 1 (изображение поверхности тел) приводится вариант анализа с помощью электронного микроскопа с разрешающей способностью несколько нанометров и минимальной площадью для точного химического анализа 10 микрометров. Всего проанализировано 7 зон (спектр № 7 - № 12) и как видно из изображений спектров, представленных на рисунках 2 и 3, разница спектров № 6 и № 9 составляет по Fe около 8% а по Ni разброс около 0.1%, что позволяет создать однородный тестовый микроструктурированный материал.

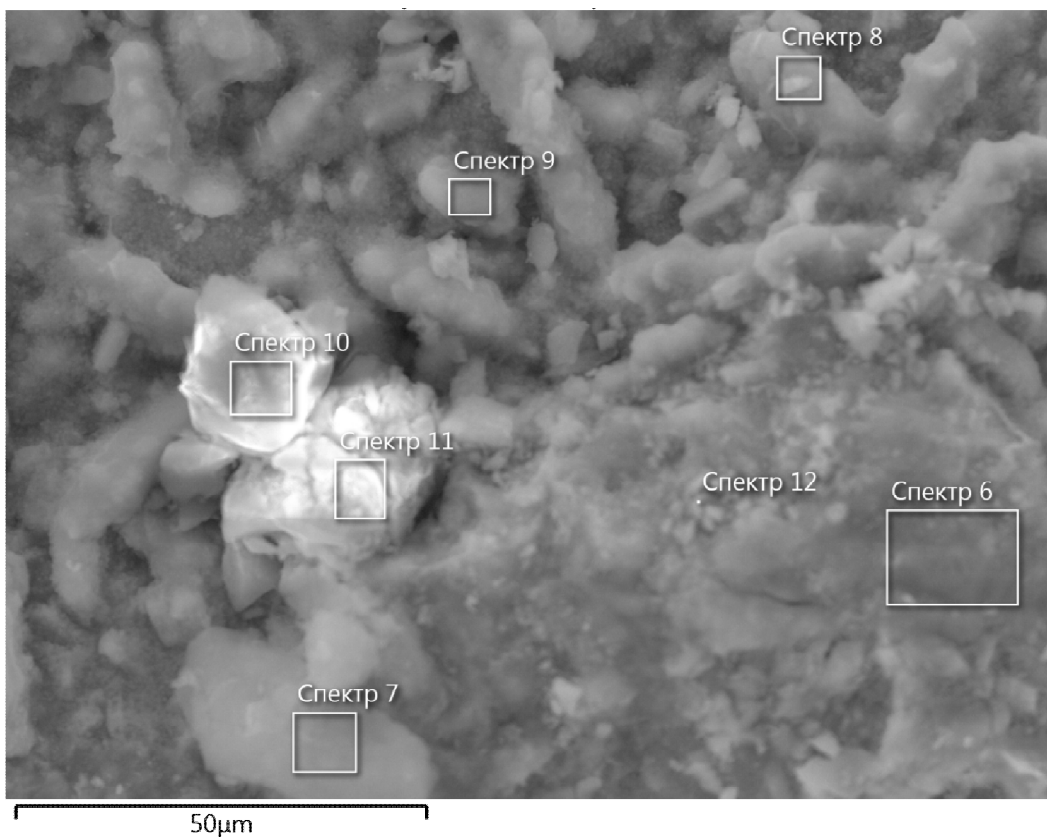


Рис. 1. Изображение поверхности метеорита с семью выделенными зонами (спектр № 7 – спектр № 12) для проведения химического анализа вещества растровым электронным микроскопом с функцией энергодисперсионной спектроскопии

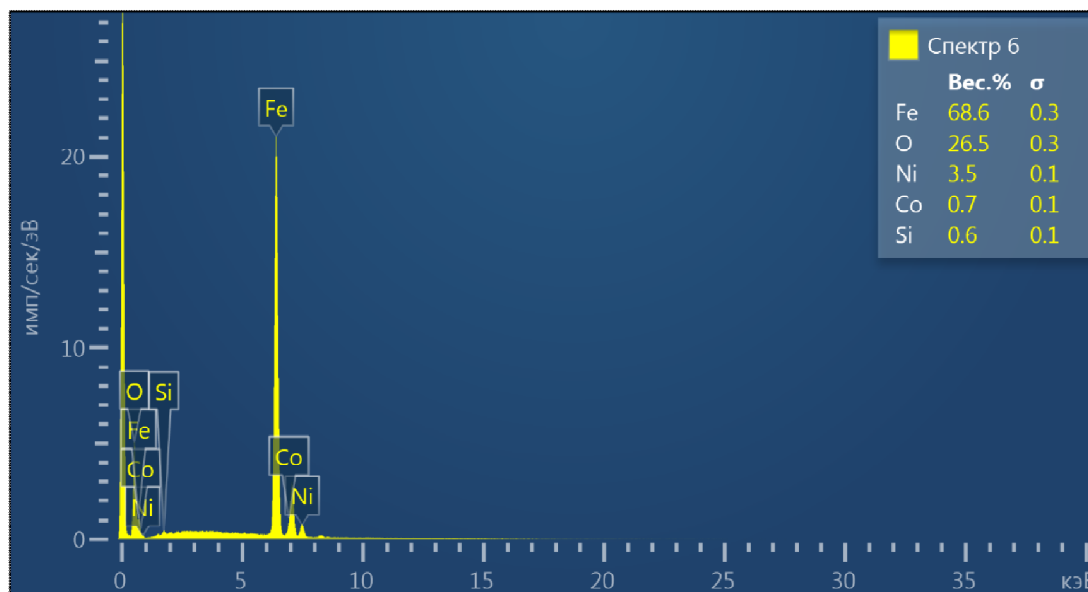


Рис. 2. Спектр № 6 показывает содержание железо 68.6%, никель 3.5%, кобальт 0.7%

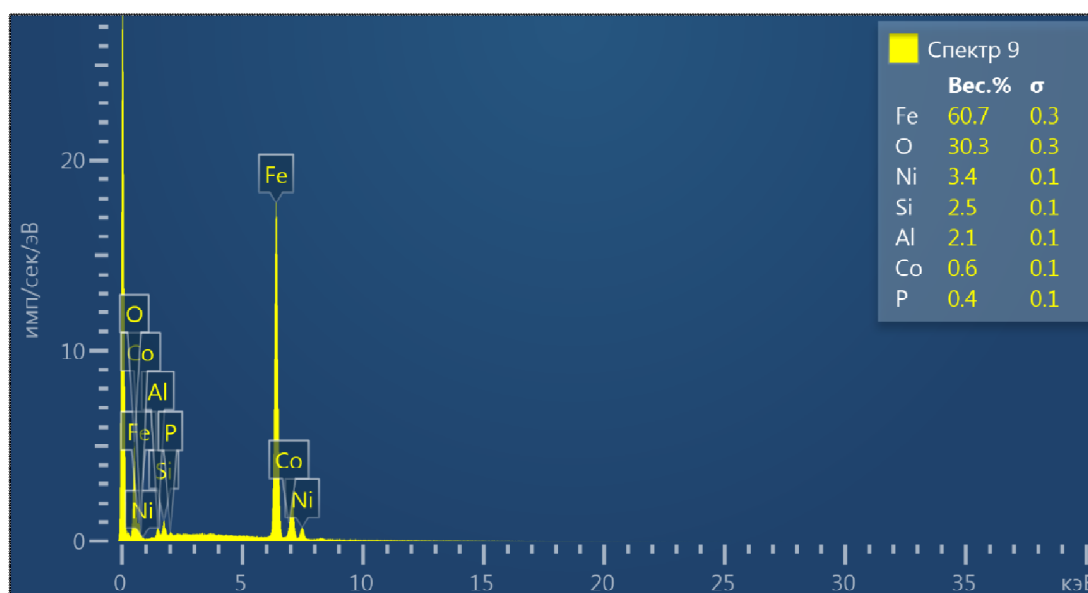


Рис. 3. Спектр № 9 показывает содержание железо 60.7%, никель 3.4%, кобальт 0.6%

В зависимости от расстояния до Солнца (в ближнем или дальнем космосе) образцы, представляющие интерес, могут находиться в разных температурных диапазонах хранения, состояние которых при транспортировке не должно быть существенно изменено. Все БКА разработаны для проведения химического анализа на Земле или для большей биологической безопасности на исследовательской орбитальной космической станции. Разработано несколько вариантов хранения микро и нанообъектов для системы Земля - Луна [19-32] и планетных систем, расположенных на окраине Солнечной системы [33 - 38]: БКА для сбора низкотемпературных замороженных объектов, например, в системах Земля - Луна, Марс - Фобос [33]; БКА для сбора и активного охлаждения при транспортировке криотемпературных объектов, например, в системе Сатурн - Титан [38]; БКА для сбора низкотемпературных наночастиц с заваркой контейнеров при герметизации в космосе без нагревания собранного материала [33, 34]; БКА для сбора криотемпературных замороженных жидкостей и отдельно замороженных объектов, но с вкраплением материалов с магнитными свойствами [36, 35].

Также разработан ряд новых малогабаритных матричных мультивекторных двигательных систем для развертывания БКА: мультивекторный многоматричный ММДС с волнообразной поверхностью для повышения маневренности БКА [48]; многоматричный мультивекторный ММДС с волнообразной поверхностью для повышения маневренности БКА [49]; реконфигурируемый ММДС, состоящий из нескольких разделяемых полуцилиндров с множеством двигательными ячейками для оптимизации расхода топлива, работе в космосе и в атмосфере исследуемой планеты [52]; реконфигурируемый ММДС, состоящий из нескольких вложенных один в другой цилиндров с множеством двигательных ячеек для оптимизации запаса топлива [53]; мультивекторный многоматричный двигательная система с кинетическим стартом для разделения космических объектов в космосе на более мелкие фракции [54].

Большая группа разрабатываемых систем обусловлена стремлением не пропустить при сборе объекты с неизвестными ранее свойствами, поэтому отрабатываются сотни возможных вариантов захвата и консервации внеземных объектов - от осколков Лунного реголита и нано частиц со свойствами квантовых точек, до потерпевших аварии микро или наноразмерных исследовательских зондов, находящихся в гравитационных колодцах под ударами всех известных и неизвестных видов излучений в течении нескольких миллионов лет.

Эволюция БКА происходит по следующему пути: уменьшение веса габаритов систем управления БКА, увеличение запасов твердого топлива, повышение функциональных возможностей и эффективности двигательных систем, повышение площади солнечных батарей и количество ловушек внеземных микро и нанообъектов, самостоятельный экспресс анализ найденного материала в космосе.

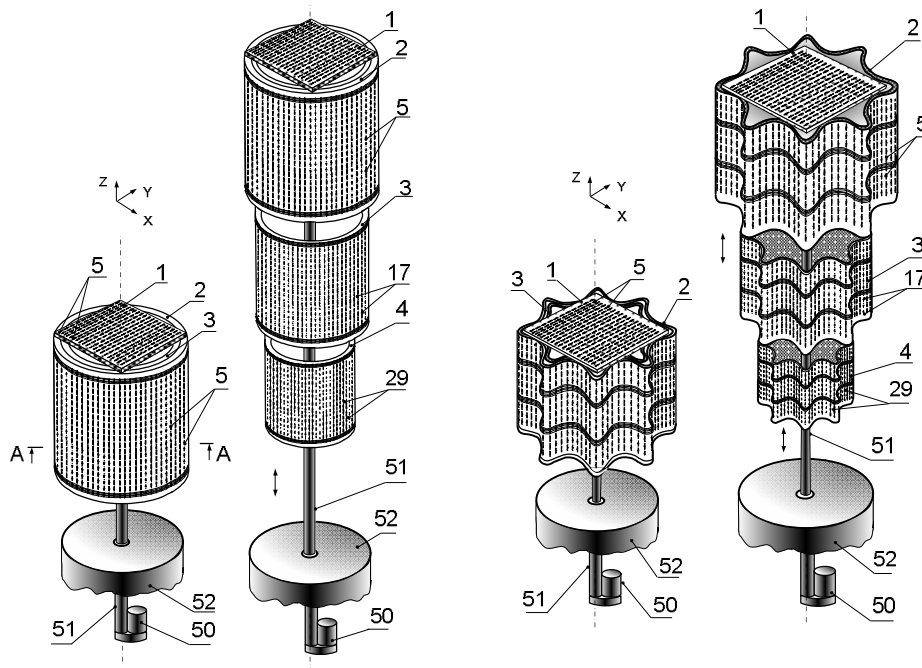


Рис. 4. Многоматричные мультивекторные реконфигурируемые двигательные системы в цилиндрическом и цилиндрическом с волнообразным наружным контуром исполнении, для малоразмерных космических аппаратов, в компактном и развернутом состоянии

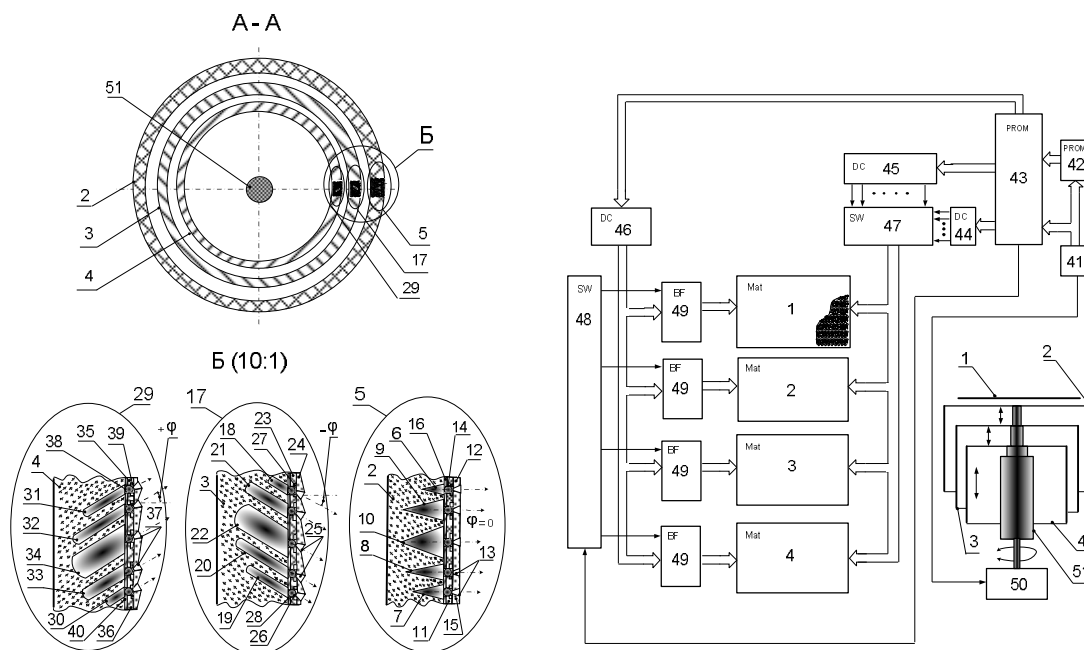


Рис. 5. Многоматричная мультивекторная реконфигурируемая двигательная система для малоразмерных космических аппаратов в разрезе по линии сечения А-А, выносной элемент Б (10:1) в увеличенном масштабе и разрезе, поясняющий организацию двоичной структуры (1-2-4-8-16) распределения объемов топливных зарядов в двигательных ячейках и угловое расположение двигательных элементов относительно друг друга и блок-схема многоматричной мультивекторной реконфигурируемой двигательной системы для малоразмерных космических аппаратов.

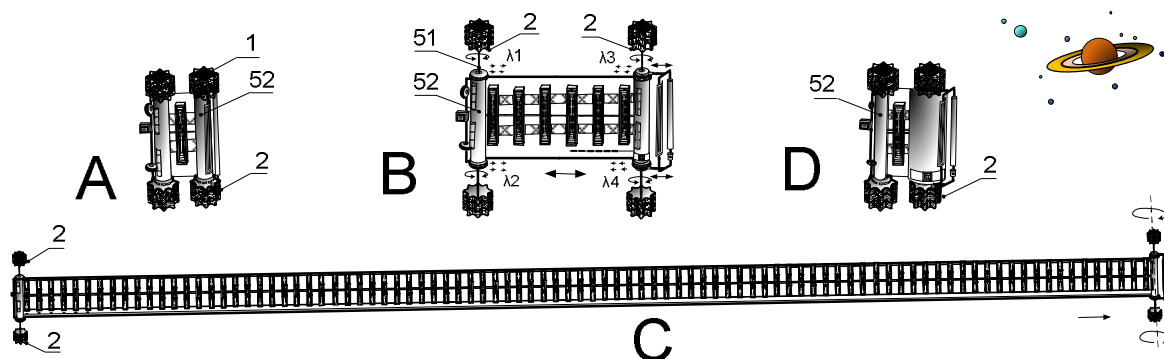


Рис. 6. Этапы развертывания БКА и свертывания по окончании герметизации собранных микро и нанообъектов в космосе

Известны однослойные ММДС [1 - 18], недостаток которых заключается в малом количестве двигательных ячеек, а, следовательно, и ограниченном количестве запаса твердого топлива. В отличие от них многослойные ММДС, в зависимости от количества слоев, имеют в разы больший запас твердого топлива. Их компоновка может базироваться, например, на лепестковом принципе [46 - 49], где полуцилиндрические подложки в виде лепестков выкладываются один за другим при сборке и отделяются в космосе в обратной последовательности по мере их использования. Другим способом компактного размещения может быть построение на основе принципа русской матрешки [50 - 53], где цилиндрические подложки с разным диаметром последовательно вкладываются одна в другую.

В отличие от известных однослойных ММДС [1 - 8], многослойные ММДС [46 - 53] в зависимости от количества слоев, умноженных на количество двигателей имеют больший запас топлива, что позволяет двигательной системе уже работать как в режиме манев-

рового двигателя, так и в режиме разгонного маршевого двигателя для преодоления самостоятельно значительного расстояния от точки отделения от носителя (если БКА выведен в качестве сопутствующего груза) до точки начала поисковых работ (например, с земной орбиты до окрестности точки Лагранжа L5 системы Луна - Земля).

В качестве примера типового состава элементов образующих класс [50 - 53] реконфигурируемых двигательных систем представлена многоматричная мультивекторная реконфигурируемая двигательная система для малоразмерных космических аппаратов (ММРДС) (рис. 4, 5), которая [52] содержит плоскую квадратную МТД-подложку с размещенной матричной структурой двигательных ячеек 1, первую цилиндрическую МТД-подложку большего диаметра с размещенной матричной структурой двигательных ячеек 2, вторую цилиндрическую МТД-подложку меньшего диаметра с размещенной матричной структурой двигательных ячеек 3, третью цилиндрическую МТД-подложку наименьшего диаметра с размещенной матричной структурой двигательных ячеек 4, двигательные ячейки 5, размещенные на первой цилиндрической МТД-подложке 2, состоящие из ранжированных по объему конусообразных двигательных элементов 6 – 10, заполненных твердым топливом в пропорциях последовательных степеней числа два (1-2-4-8-16), оси которых размещены под прямым углом относительно центральной оси, первую термостойкую мембрану 11, вторую термостойкую мембрану 12 с конусообразными упорядоченно размещенными отверстиями, образующие сопла 13, сферические воспламенители 14, шины выборки воспламенителей по столбцам 15, шины выборки воспламенителей по строкам 16, двигательные ячейки 17 упорядоченно размещенные на поверхности второй цилиндрической МТД-подложки 3, состоящие из ранжированных по объему цилиндрических двигательных элементов 18 – 22, заполненных твердым топливом в пропорциях последовательных степеней числа два (1-2-4-8-16), оси которых расположены под отрицательными углами относительно осей конусообразных двигательных элементов 6 - 9, третью термостойкую мембрану 23, четвертую термостойкую мембрану 24, конусообразные отверстия в которой образуют сопла 25, сферические воспламенители 26, шины выборки воспламенителей по столбцам 27, шины выборки воспламенителя по строкам 28, двигательные ячейки 29, упорядоченно размещенные на поверхности третьей цилиндрической МТД-подложки 4, состоящие из ранжированных по объему цилиндрических двигательных элементов 30 – 34, заполненных твердым топливом в пропорциях последовательных степеней числа два (1-2-4-8-16), оси которых расположены под положительными углами относительно осей конусообразных двигательных элементов 6 - 9, пятую термостойкую мембрану 35, шестую термостойкую мембрану 36, конусообразные отверстия в которой образуют сопла 37, сферические воспламенители 38, шины выборки воспламенителей по столбцам 39, шины выборки воспламенителя по строкам 40, контроллер 41, блок памяти отработанных кодовых комбинаций 42, блок памяти альтернативных кодовых комбинаций 43, дешифратор данных 44, дешифратор строк 45, дешифратор столбцов 46, коммутатор двигательных ячеек 47, коммутатор выборки двигательных матриц 48, формирователь адресов активируемых воспламенителей двигательной ячейки 49, реверсивный шаговый двигатель 50, четырехсекционную выдвижную телескопическую штангу 51 (Рис. 4 - Рис. 6), элемент корпуса БКА 52 (рис. 6). Количество формирователей адресов активируемых воспламенителей двигательных ячеек 49 равно суммарному количеству матричных двигательных структур, размещенных на цилиндрических МТД-подложках 1 - 4. На Рис. 4, Рис. 5 штрихпунктирной линией - обозначена центральная ось, расположенная по центру первой 2, второй 3, третьей 4 цилиндрических МТД-подложек, находящихся на равных расстояниях от их внутренних боковых поверхностей. На рисунке 5 штрихпунктирной линией со стрелкой – обозначены оси, проходящие через центры двигательных элементов, одновременно указывающие направление тяги каждого двигательного элемента. Символами: + φ , $\varphi = 0$, - φ , обозначены углы наклона осей двигательных элементов, соответственно положительный угол наклона, угол наклона равный нулю, отрицательный угол наклона. На Рис. 6 поясняет

этапы развертывания [33 - 45] гибких солнечных батарей, совмещенных с магнитными ловушками внеземного вещества с помощью ММРДС: А, В, С – этапы развертывания и поиска. Этап D – герметизация контейнеров с собранными в космосе микро и нанообъектами.

Использование дополнительного массива разгонных двигательных ячеек с твердым топливом позволяет самостоятельно переходить с околоземных орбит на окололунные орбиты. Это расширяет круг космических исследований и открывает дорогу для работы космическим археологам любителям, изучающим внеземные микрообъекты, студентам, конструкторам и исследователям дальнего космоса, разработчикам систем анализа замороженных биологических объектов в космосе для исключения доставки неизвестных микроорганизмов на Землю.

Заключение

Поисковые бинарные космические аппараты - недорогой инструмент для исследования ближнего и дальнего космоса в точках Лагранжа L4, L5.

В пылеобразных структурах точек Лагранжа L4, L5 можно найти микро и нанообъекты, которых нет на Земле, это все то, что может сгореть в атмосфере (например, аналоги янтаря с вкраплением микрообъектов), все то, что может потерять память при нагреве выше температуры таяния льда или точки Кюри самого ферромагнетика (например, магнитные частицы, миллионы лет назад замороженные во льду или остывающие в микросферах стекла, и сохранившие топологию магнитных доменов, запомнивших конфигурацию первоначального магнитного поля или изображения в момент вспышки от столкновения небесных тел), перегрузки, вызывающие деформации структур вещества небесных тел (например, квантовые точки при ударе переходят из излучающих в неизлучающие, найти которые на Земле среди множества подобных микрообъектов очень сложно). В точках Лагранжа L4, L5 можно найти также материал, который сложно найти на других планетах (например, материал, дрейфующий в окрестностях точек Лагранжа L4, L5 системы Земля-Луна уже миллионы лет, может быть, и не найден при заборе грунта с поверхности Луны с помощью пилотируемых экспедиций вследствие погружения его под слои Лунного реголита, образующегося при выбросах грунта в результате столкновений небесных тел с поверхностью Луны).

Библиографический список

1. Матричная ракетная двигательная система с индивидуальным цифровым управлением величиной тяги каждой двигательной ячейки для малоразмерных космических аппаратов: Патент на изобретение RU 2660210 С1, 05.07.2018. Заявка № 2017114832 от 26.04.2017. / *Линьков В.А., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И., Гусев С.И.*
2. Реверсивная матричная ракетная двигательная система с индивидуальным цифровым управлением величиной тяги каждой реверсивной двигательной ячейки для малоразмерных космических аппаратов: Патент на изобретение RU 2654782 С1, 22.05.2018. Заявка № 2017123451 от 03.07.2017. / *Линьков В.А., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И., Гусев С.И.*
3. Матричная ракетная двигательная система с индивидуальным цифровым управлением величиной тяги каждой двигательной ячейки для малоразмерных космических аппаратов: Патент на полезную модель RU 178924 U1, 23.04.2018. Заявка № 2017116244 от 10.05.2017. / *Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И., Гусев С.И.*
4. Реверсивная матричная ракетная двигательная система с индивидуальным цифровым управлением величиной тяги каждой реверсивной двигательной ячейки для малоразмерных космических аппаратов: Патент на полезную модель RU 178748 U1, 18.04.2018. Заявка № 2017123920 от 05.07.2017. / *Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И., Гусев С.И.*
5. Мультивекторная матричная ракетная двигательная система с цифровым управлением величиной и направлением тяги двигательных ячеек для малоразмерных космических аппаратов: Патент на полезную модель RU 183937 U1, 09.10.2018. Заявка № 2018125136 от 09.07.2018. / *Линьков В.А., Гусев С.И., Колесников С.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И.*

6. Мультивекторная матричная ракетная двигательная система с цифровым управлением величиной и направлением тяги двигательных ячеек для малоразмерных космических аппаратов: Патент на изобретение RU 2700299 C1, 16.09.2019. Заявка № 2018124424 от 03.07.2018 / *Линьков В.А., Гусев С.И., Колесников С.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И.*

7. Мультивекторная матричная ракетная двигательная система с цифровым управлением величиной и направлением тяги двигательных ячеек для малоразмерных космических аппаратов: Патент на изобретение RU 2707474 C1, 26.11.2019. Заявка № 2018142754 от 03.12.2018. / *Линьков В.А., Гусев С.И., Колесников С.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И.*

8. Мультивекторная матричная ракетная двигательная система с цифровым управлением величиной и направлением тяги двигательных ячеек для малоразмерных космических аппаратов: Патент на полезную модель RU 189442 U1, 22.05.2019. Заявка № 2018143940 от 11.12.2018. / *Линьков В.А., Гусев С.И., Колесников С.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И.*

9. Бинарный космический аппарат с реконфигурируемой сканирующей антенной, совмещенной с солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями: Патент на изобретение RU 2745166 C1, 22.03.2021. Заявка № 2020122810 от 03.07.2020. / *Линьков В.А.*

10. Бинарный космический аппарат с реконфигурируемой сканирующей антенной, совмещенной с солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями: Патент на полезную модель RU 203113 U1, 22.03.2021. Заявка № 2020123633 от 09.07.2020. / *Линьков В.А.*

11. Бинарный космический аппарат с реконфигурируемой антенной, совмещенной с солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями: Патент на изобретение RU 2744261 C1, 04.03.2021. Заявка № 2020121447 от 23.06.2020. / *Линьков В.А.*

12. Бинарный космический аппарат с реконфигурируемой антенной, совмещенной со свертываемой в рулон солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями: Патент на изобретение RU 2735448 C1, 02.11.2020. Заявка № 2020113745 от 03.04.2020. / *Линьков В.А.*

13. Бинарный космический аппарат со сканирующей антенной, совмещенной со свертываемой в рулон солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями: Патент на изобретение RU 2735449 C1, 02.11.2020. Заявка № 2020116045 от 27.04.2020. / *Линьков В.А.*

14. Бинарный космический аппарат с реконфигурируемой антенной, совмещенной с солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями: Патент на полезную модель RU 200445 U1, 26.10.2020. Заявка № 2020122662 от 03.07.2020. / *Линьков В.А.*

15. Бинарный космический аппарат со сканирующей антенной, совмещенной со свертываемой в рулон солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями Патент на полезную модель RU 200213 U1, 13.10.2020. Заявка № 2020117163 от 12.05.2020. / *Линьков В.А.*

16. Бинарный космический аппарат с реконфигурируемой антенной, совмещенной со свертываемой в рулон солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями: Патент на полезную модель RU 198984 U1, 06.08.2020. Заявка № 2020116038 от 27.04.2020. / *Линьков В.А.*

17. Бинарный малоразмерный космический аппарат с реконфигурируемой антенной, совмещенной с гибкой развертываемой ленточной солнечной батареей: Патент на изобретение RU 2716728 C1, 16.03.2020. Заявка № 2019103169 от 05.02.2019. / *Линьков В.А., Гусев С.И., Колесников С.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И.*

18. Бинарный космический аппарат с реконфигурируемой антенной, совмещенной с гибкой ленточной солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями: Патент на изобретение RU 2714064 C1, 11.02.2020. Заявка № 2019111570 от 16.04.2019. / *Линьков В.А., Гусев С.И., Колесников С.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И.*

19. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных нанообъектов с магнитными свойствами в окрестностях точек либрации: Патент на изобретение RU 2761686 C1, 13.12.2021. Заявка № 2021110352 от 13.04.2021. / *Линьков В. А.*

20. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных нанообъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в солнечную систему: Патент на изобретение RU 2761486 C1, 08.12.2021. Заявка № 2021111499 от 21.04.2021. / *Линьков В. А.*

21. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных излучающих нанообъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в солнечную систему: Патент на полезную модель RU 207630 U1, 08.11.2021. Заявка № 2021119904 от 06.07.2021. / *Линьков В. А.*

22. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных нанообъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в солнечную систему: Патент на полезную модель RU 206424 U1, 13.09.2021. Заявка № 2021112468 от 27.04.2021. / *Линьков В. А.*

23. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных нанообъектов с магнитными свойствами в окрестностях точек либрации: Патент на полезную модель RU 206426, 13.09.2021. Заявка № 2021111489 от 21.04.2021. / *Линьков В. А.*

24. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных объектов со свойствами квантовых точек и апконвертирующих наночастиц в окрестностях точек либрации: Патент на изобретение 2749431 С1, 10.06.2021. Заявка № 2020135104 от 26.10.2020. / *Линьков В. А.*

25. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных объектов со свойствами квантовых точек в окрестностях точек либрации: Патент на изобретение RU 2744277 С1, 04.03.2021. Заявка № 2020134827 от 22.10.2020. / *Линьков В.А.*

26. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных объектов со свойствами квантовых точек и апконвертирующих наночастиц в окрестностях точек либрации: Патент на полезную модель RU 202750 U1, 04.03.2021. Заявка № 2020136043 от 02.11.2020. / *Линьков В.А.*

27. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных объектов со свойствами квантовых точек в окрестностях точек либрации: Патент на полезную модель RU 202757 U1, 04.03.2021. Заявка № 2020135116 от 26.10.2020. / *Линьков В.А.*

28. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных излучающих нанообъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в солнечную систему: Патент на изобретение RU 2772290 С1, 18.05.2022. Заявка № 2021118434 от 23.06.2021. / *Линьков В. А.*

29. Бинарный космический аппарат для поиска, сбора и анализа внеземных флуоресцентных нанообъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в солнечную систему: Патент на полезную модель RU 211253 U1, 26.05.2022. Заявка № 2021102985 от 07.02.2022. / *Линьков В. А.*

30. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных флуоресцентных нанообъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в солнечную систему: Патент на полезную модель RU 211363 U1, 01.06.2022. Заявка № 202101987 от 27.01.2022. / *Линьков В. А.*

31. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных флуоресцентных нанообъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в солнечную систему: Патент на изобретение RU 2776623 С1, 22.07.2022. Заявка № 2022101616 от 24.01.2022. / *Линьков В. А.*

32. Бинарный космический аппарат для поиска, сбора и анализа внеземных флуоресцентных нанообъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в солнечную систему: Патент на изобретение RU 2776624 С1, 22.07.2022. Заявка № 2022101989 от 27.01.2022. / *Линьков В. А.*

33. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных низкотемпературных нанообъектов с магнитными свойствами в окрестностях точек либрации планет, входящих в Солнечную систему: Патент на полезную модель RU 217021 U1, 14.03.2023. Заявка № 2022132408 от 09.12.2022. / *Линьков В. А., Линькова С.Ю.*

34. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных низкотемпературных нанообъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в Солнечную систему: Патент на полезную модель RU 217330 U1, 28.03.2023. Заявка № 2022132407 от 09.12.2022. / *Линьков В. А.*

35. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных криотемпературных нанообъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в Солнечную систему: Патент на полезную модель RU 218355 U1, 23.05.2023. Заявка № 2023105189 от 06.03.2023. / *Линьков В. А., Линькова С.Ю.*

36. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных криотемпературных нанообъектов с магнитными свойствами в окрестностях точек либрации планет, входящих в Солнечную систему: Патент на полезную модель RU 218396 U1, 24.05.2023. Заявка № 2023105178 от 06.03.2023. / *Линьков В. А.*

37. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных низкотемпературных нанообъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в Солнечную систему: Патент на изобретение RU 2798620 С1, 23.06.2023. Заявка № 2022131187 от 29.11.2022. / *Линьков В. А.*

38. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных криотемпературных нанообъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в Солнечную систему: Патент на изобретение RU 2797453 С1, 06.06.2023. Заявка № 2023105189 от 06.03.2023. / *Линьков В. А.*

39. Линьков В.А., Линькова С.Ю. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ПОИСКОВЫХ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ЗОНДОВ ДЛЯ СБОРА И АНАЛИЗА ВНЕЗЕМНЫХ НАНООБЪЕКТОВ В ОКРЕСНОСТЯХ ТОЧЕК ЛИБРАЦИИ ПЛАНЕТ, ВХОДЯЩИХ В СОЛНЕЧНУЮ СИСТЕМУ

В сборнике: Современные технологии в науке и образовании-СТНО-2022. Сборник трудов V Международного научно-технического форума. В 10-ти томах. Под редакцией О.В. Миловзорова. Рязань, 2022. С. 22-28.

40. Линьков В.А., Линькова С.Ю. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОИСКОВЫХ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ЗОНДОВ ДЛЯ СБОРА И АНАЛИЗА ВНЕЗЕМНЫХ ФЛУОРЕСЦИРУЮЩИХ НАНООБЪЕКТОВ В ОКРЕСНОСТЯХ ТОЧЕК ЛИБРАЦИИ ПЛАНЕТ, ВХОДЯЩИХ В СОЛНЕЧНУЮ СИСТЕМУ. В книге: Новые информационные технологии в научных исследованиях Материалы XXVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. В 2-х томах. Рязань, 2022. С. 148-149.

41. Линьков В.А., Линькова С.Ю. ЦИФРОВЫЕ МАТРИЧНЫЕ РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ. Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2023: сб. тр. VI междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.2./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. - Рязань: Рязан. гос. радиотех. ун-т, 2023. С. 81-88.

42. Линьков В.А., Линькова С.Ю. МУЛЬТИВЕКТОРНЫЕ МАТРИЧНЫЕ ДВИГАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ БИНАРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ. Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2023: сб. тр. VI междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.2. / под общ. ред. О.В. Миловзорова. - Рязань: Рязан. гос. радиотех. ун-т, 2023. С. 89-97.

43. Линьков В.А., Линькова С.Ю. БИНАРНЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДЛЯ ПОИСКА И СБОРА ВНЕЗЕМНЫХ КРИОТЕМПЕРАТУРНЫХ НАНООБЪЕКТОВ С МАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ В ОКРЕСНОСТЯХ ТОЧЕК ЛАГРАНЖА ПЛАНЕТ, ВХОДЯЩИХ В СОЛНЕЧНУЮ СИСТЕМУ. В сборнике: Актуальные проблемы современной науки и производства. Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции. Рязань, 2023. С.159-172.

44. Линьков В.А., Линькова С.Ю. ПОИСК ИЗЛУЧАЮЩИХ НАНОЧАСТИЦ В ОКРЕСНОСТЯХ ТОЧЕК ЛИБРАЦИИ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СИНТЕЗА ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ НАНООБЪЕКТОВ, ЗАПУСКАЮЩИХ МЕХАНИЗМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ. Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2024: сб. тр. VII междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.2. / под общ. ред. О.В. Миловзорова. - Рязань: Рязан. гос. радиотех. ун-т, 2024. С. 70-77.

45. Линьков В.А., Линькова С.Ю. Многоматричные мультивекторные маневровые двигательные системы для малоразмерных космических аппаратов. Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2025: сб. тр. VIII междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6. / под общ. ред. О.В. Миловзорова. - Рязань: Рязан. гос. радиотех. ун-т, 2025. С. 61-69.

46. Многоматричная мультивекторная двигательная система для малоразмерных космических аппаратов: Патент на полезную модель RU 223962 U1, 11.03.2024. Заявка № 2023131702 от 28.11.2023. / Линьков В.А.

47. Мультивекторная многоматричная двигательная система для малоразмерных космических аппаратов: Патент на полезную модель RU 224770 U1, 03.04.2024. Заявка № 2023133191 от 08.12.2023. / Линьков В.А.

48. Мультивекторная многоматричная двигательная система для малоразмерных космических аппаратов: Патент на изобретение RU 2823589 C1, 24.07.2024. Заявка № 2023131701 от 28.11.2023. / Линьков В.А.

49. Многоматричная мультивекторная двигательная система для малоразмерных космических аппаратов: Патент на изобретение RU 2820486 C1, 04.06.2024. Заявка № 2018143940 от 20.11.2023. / Линьков В.А.

50. Многоматричная мультивекторная реконфигурируемая двигательная система для малоразмерных космических аппаратов: Патент на полезную модель RU 230321 U1, 26.11.2024. Заявка № 2024120448 от 16.07.2024. / Линьков В.А.

51. Мультивекторная многоматричная реконфигурируемая двигательная система для малоразмерных космических аппаратов: Патент на полезную модель RU 231432 U1, 28.01.2025. Заявка № 2024121462 от 24.07.2024. / Линьков В.А.

52. Многоматричная мультивекторная реконфигурируемая двигательная система для малоразмерных космических аппаратов: Патент на изобретение RU 2836794 C1, 24.03.2025. Заявка № 2024119165т 08.07.2024. / Линьков В.А.

53. Мультивекторная многоматричная реконфигурируемая двигательная система для малоразмерных космических аппаратов: Патент на изобретение RU 2838464 C1, 16.04.2025. Заявка № 2024120544 от 16.07.2024. / Линьков В.А.

54. Маневровая многоматричная мультивекторная двигательная система для малоразмерных стержневых аэрокосмических объектов с кинетическим стартом: Патент на полезную модель RU 239329 U1, 28.11.2025. Заявка № 2025122875 от 18.11.2025. / Линьков В.А.

УДК 004.65:528.9; ГРНТИ 20.23.25

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ КОРПОРАТИВНОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ POSTGRES/POSTGIS

Т.И. Кондрашова¹

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, tatyankondrashova00@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы проектирования и реализации базы данных для корпоративной геоинформационной системы (ГИС). Проведен анализ особенностей пространственных и атрибутивных данных, сформулированы ключевые требования к системе: полнота, непротиворечивость, актуальность и производительность. Предложена модульная архитектура интеллектуальной СУБД ГИС, включающая модули хранения, контро-

¹ Научный руководитель Колесенков Александр Николаевич, д.т.н., профессор кафедры КТ

ля целостности, аудита, оптимизации, аналитики и безопасности. Представлены математические формализации модели аудита пространственных изменений и модели временных меток для контроля актуальности. Описана физическая реализация базы данных в СУБД PostgreSQL с расширением PostGIS, включающая схематическую организацию, табличную структуру, триггеры, индексы и систему разграничения прав доступа.

Ключевые слова: корпоративная ГИС, PostgreSQL, PostGIS, пространственные данные, интеллектуальная база данных, аудит изменений, пространственная индексация, модульная архитектура.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN INTELLIGENT DATABASE FOR A CORPORATE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM BASED ON POSTGRESQL/POSTGIS

T.I. Kondrashova

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, tatyanakondrashova00@gmail.com

The summary. The paper deals with the design and implementation of a database for a corporate Geographic Information System (GIS). The analysis of spatial and attribute data features is carried out, and the key requirements for the system are formulated: completeness, consistency, relevance, and performance. A modular architecture of an intelligent DBMS for GIS is proposed, including storage, integrity control, audit, optimization, analytics, and security modules. Mathematical formalizations of the spatial change audit model and the timestamp model for relevance control are presented. The physical implementation of the database in PostgreSQL with the PostGIS extension is described, including schema organization, table structure, triggers, indexes, and an access control system. Testing results confirming the effectiveness of the proposed solutions are presented.

Keywords: corporate GIS, PostgreSQL, PostGIS, spatial data, intelligent database, change audit, spatial indexing, modular architecture.

Современные корпоративные геоинформационные системы (ГИС) сталкиваются с необходимостью обработки больших объемов пространственных данных, обеспечения их целостности и актуальности, а также предоставления инструментов для сложного анализа. Традиционные реляционные системы управления базами данных (СУБД) без специализированных расширений не в полной мере отвечают этим требованиям из-за двойственной природы ГИС-данных, сочетающих геометрическую и семантическую информацию [1, 2].

Целью данной работы является разработка и реализация интеллектуальной базы данных для корпоративной ГИС, которая обеспечивала бы не только хранение пространственных данных, но и автономное управление их качеством, аудит изменений и оптимизацию запросов. В качестве платформы реализации выбрана СУБД PostgreSQL с расширением PostGIS, предоставляющая мощные средства для работы с пространственными данными и богатый набор инструментов для создания программной логики на стороне сервера [3, 4].

Данные в корпоративных ГИС имеют двойственную природу. Каждый объект описывается пространственным компонентом (геометрический тип POINT, LINESTRING, POLYGON в системе координат WGS84, SRID 4326) и атрибутивным компонентом, включающим идентификационные, описательные, количественные и временные характеристики [5].

На основе анализа предметной области были сформулированы ключевые требования к разрабатываемой системе.

1. Полнота данных: система должна охватывать все типы объектов (земельные участки, здания, сети, инциденты) и хранить полный набор их атрибутов.

2. Непротиворечивость данных: необходимо обеспечить структурную (первичные и внешние ключи), семантическую (доменные ограничения CHECK) и пространственную целостность (валидность геометрий, соответствие бизнес-правилам, например, нахождение здания внутри участка).

3. Актуальность данных: система должна автоматически отслеживать время создания и модификации объектов, а также поддерживать историчность изменений.

4. Производительность: время отклика на типовые пространственные и атрибутивные запросы должно обеспечивать комфортную работу пользователей и аналитических приложений.

5. Критерии "интеллектуальности" такой СУБД включают в себя автоматизированный аудит изменений, автономную оптимизацию пространственных запросов, контекстно-зависимую обработку данных и самонастраиваемую производительность.

Для удовлетворения поставленных требований разработана модульная архитектура базы данных (рис. 1), реализованная на уровне логических схем PostgreSQL.

Архитектура включает следующие модули:

- модуль хранения данных (схема `gis_core`) – содержит основные пространственные таблицы;
- модуль контроля целостности – реализован через декларативные ограничения и триггеры, проверяющие бизнес-правила;
- модуль аудита и логирования (схема `audit`) – обеспечивает сквозную трассировку всех изменений пространственных данных;
- модуль оптимизации – управляет GiST-индексами для пространственных данных и B-tree индексами для атрибутивных полей, а также анализирует статистику запросов;
- модуль аналитики (схема `analytics`) – предоставляет денормализованные представления для упрощения отчетности и визуализации;
- модуль безопасности – реализует ролевую модель доступа к данным.

Математическое обоснование интеллектуальных механизмов

Интеллектуальность разработанной системы базируется на формализации двух ключевых процессов: аудита пространственных изменений и контроля актуальности данных. Математическое обоснование этих механизмов позволяет гарантировать их корректность и эффективность.

1. Модель аудита изменений

Процесс аудита можно представить как отображение изменения состояния пространственного объекта в запись журнала. Состояние любого объекта системы o в момент времени t описывается кортежем, включающим его идентификатор, геометрию и метаданные последнего изменения. Операция модификации (вставка, обновление или удаление) порождает событие изменения Δ , которое фиксируется в журнале J .

Формально, для объекта o , измененного пользователем u с типом операции op между моментами времени t_1 и t_2 , запись в журнале имеет вид: $\Delta(o, t_1, t_2) = \langle t_1, t_2, id(o), g(o, t_1), g(o, t_2), u, op \rangle$. Множество таких записей, упорядоченных по времени, образует полную историю изменений: $J = \{\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n\}$. Такой подход обеспечивает свойство транзитивности – возможность восстановления состояния объекта на любой момент времени путем последовательного применения зафиксированных изменений.

2. Модель временных меток

Для автоматического контроля актуальности данных каждый объект наделяется временным профилем $\tau = \langle t_{c\sim}, t_{u\sim} \rangle$, где $t_{c\sim}$ – время создания, а $t_{u\sim}$ – время последнего обновления. Критическим требованием является монотонность времени обновления: любая последовательность модификаций объекта U_1, U_2, \dots, U_n , произошедших в моменты времени $t_1 < t_2 < \dots < t_n$, должна удовлетворять условию $t_{u\sim(1)} \leq t_{u\sim(2)} \leq \dots \leq t_{u\sim(n)}$. Это гарантирует, что метка `updated_at` всегда отражает наиболее позднее изменение.

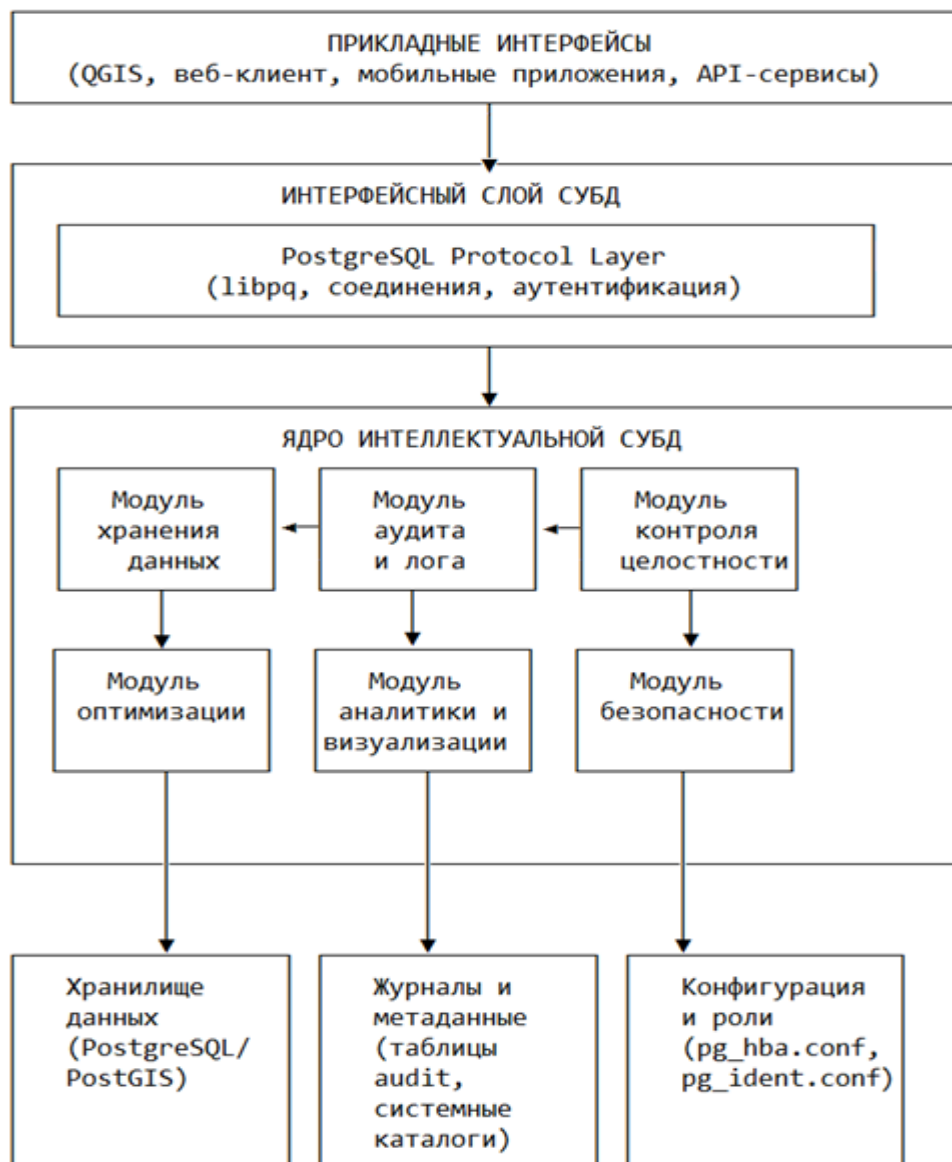


Рис. 1. Модульная архитектура интеллектуальной СУБД ГИС

В разработанной системе это условие выполняется автоматически благодаря триггерной функции `update_updated_at()`, которая перед каждой операцией UPDATE присваивает полю `updated_at` текущее значение времени `CURRENT_TIMESTAMP`. Таким образом, для любого объекта в базе данных сохраняется корректная временная история его актуальности.

Физическая реализация в PostgreSQL/PostGIS

Физическая реализация выполнена в СУБД PostgreSQL с расширениями PostGIS, `postgis_topology` и `uuid-oss`. Созданы следующие схемы:

- `ref` – справочники (юридические лица, пользователи);
- `gis_core` – основные пространственные таблицы: `land_plots`, `buildings`, `transport_network`, `utility_networks`, `point_objects`, `incidents`;
- `audit` – таблица `spatial_changes_log` для хранения истории изменений.
- `analytics` – материализованные представления и вьюхи для аналитики;
- `temp` – для временных данных.

Для всех пространственных таблиц созданы GiST-индексы (например, `CREATE INDEX idx_plots_geom ON gis_core.land_plots USING GIST(geometry)`), обеспечивающие эф-

фактивное выполнение операций пересечения, поиска в границах и вычисления расстояний. Для атрибутивных полей и внешних ключей созданы B-tree индексы (например, `idx_plots_cadastral`, `idx_buildings_plot`).

Интеллектуальная обработка реализована через систему триггеров:

– `update_updated_at()` (BEFORE UPDATE) – автоматически обновляет поле `updated_at` при изменении записи;

– `log_geometry_change()` (AFTER INSERT OR UPDATE) – фиксирует в таблице `audit.spatial_changes_log` идентификатор пользователя, тип операции, старую и новую геометрию, обеспечивая полный аудит.

Система безопасности реализована через ролевую модель:

– `gis_viewer` – SELECT на схемах `gis_core`, `ref`, `analytics`;

– `gis_editor` – SELECT, INSERT, UPDATE на `gis_core`, права на использование последовательностей;

– `gis_admin` – полные права на все объекты, включая схему `audit`.

В результате выполненной работы спроектирована и реализована интеллектуальная база данных для корпоративной ГИС на платформе PostgreSQL/PostGIS. Разработанная модульная архитектура и математические модели позволили создать систему, которая не только хранит пространственные данные, но и автономно управляет их целостностью, производительностью и историчностью.

Внедрение триггеров для аудита и временных меток, а также использование специализированных GiST-индексов доказало свою эффективность для обеспечения требований актуальности, непротиворечивости и производительности.

Библиографический список

1. Rigaux P., Scholl M., Voisard A. Spatial Databases: With Application to GIS. – Morgan Kaufmann, 2002. – 410 p.
2. Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W. Geographic Information Systems and Science. – 4th ed. – Wiley, 2015. – 560 p.
3. PostgreSQL Documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.postgresql.org/docs/> (дата обращения: 10.02.2026).
4. PostGIS Documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://postgis.net/docs/> (дата обращения: 10.02.2026).
5. Zeiler M. Modeling Our World: The ESRI Guide to Geodatabase Design. – ESRI Press, 2010. – 312 p.
6. Дейт К.Дж. Введение в системы баз данных. – 8-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 1328 с.
7. Орёл А.Е., Тикунов В.С. Геоинформационные системы: учебное пособие. – М.: Академия, 2013. – 384 с.

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЁРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПЛОЩАДНОЙ СЪЁМКИ

А.С. Горобченко, М.М. Егин, Ю.С. Соколова

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, alexo375@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается применение свёрточной нейронной сети (СНС) для задачи автоматического обнаружения изменений на спутниковых изображениях высокого пространственного разрешения, полученных в режиме площадной съёмки. Выполнено обоснование выбора архитектуры СНС, сформирована обучающая выборка (разметка данных), обучена модель СНС на базе архитектуры U-Net++ с экстрактором признаков ResNet. Проведён анализ качества обученной модели. Отдельное внимание уделено проблеме обучения модели на малом наборе данных с использованием техник аугментации и комбинированной функции потерь.

Ключевые слова: обнаружение изменений; площадная съёмка; дистанционное зондирование; свёрточные нейронные сети; глубокое обучение; семантическая сегментация; U-Net++.

CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK USAGE FOR CHANGE DETECTION IN AREA SURVEY IMAGERY

A.S. Gorobchenko, M.M.Egin, Yu.S. Sokolova

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, alexo375@yandex.ru

The summary. The article discusses the use of a convolutional neural network (CNN) for the automatic detection of changes in high-spatial resolution satellite images obtained in the area survey mode. The rationale for choosing the CNN architecture has been fulfilled, a training sample (data markup) has been formed, and a CNN model based on the U-Net++ architecture with a ResNet feature extractor has been trained. The quality analysis of the trained model is carried out. Special attention is paid to the problem of training a model on a small data set using augmentation techniques and a combined loss function.

Keywords: change detection; area survey; remote sensing; convolutional neural networks; deep learning; semantic segmentation; U-Net++.

Введение

В условиях стремительного развития технологий дистанционного зондирования Земли результаты съёмки находят большее применение в таких областях, как анализ землепользования, экологический контроль, оценка воздействия природных и антропогенных факторов, оперативный мониторинг. Современные космические аппараты (КА) оптического наблюдения могут осуществлять съёмку в площадном режиме, в результате которого регион интереса покрывается набором перекрывающихся изображений. В наземных комплексах приёма и обработки данных ставится задача объединения материалов съёмки в мозаичное изображение. Совмещение изображений осуществляется в рамках геометрического синтеза [1], обеспечивающего согласование одноимённых объектов в областях перекрытия на мозаичном снимке. При этом на стыке могут возникать деформации земных объектов, обусловленные двумя факторами: 1) различными углами съёмки изображений; 2) разницей сюжетов, возникшей в процессе перенацеливания съёмочной аппаратуры. В соответствии со стандартом [2] исключение из мозаики деформаций на стыке изображений выполняется проведением линии пореза. Последние исследования [3, 4] используют различные подходы к определению стоимостной функции, определяющей целесообразность проведения линии пореза в отдельных пикселях мозаики. Для материалов площадной съёмки в качестве стоимостной функции может выступать карта изменений, формируемая алгоритмами обнаружения изменений.

Традиционные алгоритмы (разностные методы, методы анализа текстур, методы на основе нечётких мер сходства) обладают простотой реализации, но подвержены влиянию шумов и остаточных рассогласований. В предыдущих исследованиях [5] была продемонстрирована работа классических методов обнаружения изменений на основе текстурного анализа с использованием фильтров Габора и нечётких мер сходства гистограмм. В частности, применение биоинспирированных алгоритмов оптимизации (генетического алгоритма и роя частиц) [6] позволило достичь субоптимальных параметров и значения метрики Intersection over Union (IoU) на уровне 0,34–0,35. Данные показатели являются пределом для детерминированных алгоритмов в условиях сложной городской застройки.

За последние годы развитие методов искусственного интеллекта и глубокого обучения существенно расширило возможности автоматической обработки изображений. Свёрточные нейронные сети (СНС) используются для автоматического выделения локальных признаков (текстур, краев, форм) из изображений и демонстрируют высокую адаптивность к различным задачам.

Целью настоящей работы является исследование применения методов искусственного интеллекта для обнаружения изменений на изображениях площадной съёмки. Для решения поставленной цели необходимо выполнить следующие **задачи**:

- 1) рассмотреть современные подходы для решения задачи обнаружения изменений и выбрать архитектуру СНС;
- 2) сформировать обучающую выборку для обнаружения изменений на изображениях площадной съёмки;
- 3) обучить модель СНС;
- 4) оценить качество обнаружения изменений нейросетевой модели.

1. Выбор и обоснование архитектуры СНС для обнаружения изменений

В задачах семантической сегментации и обнаружения изменений на изображениях дистанционного зондирования Земли наибольшую эффективность демонстрируют полностью свёрточные нейронные сети (Fully Convolutional Networks, FCN) и, в частности, архитектуры семейства U-Net [7]. В отличие от традиционных CNN, используемых для классификации, архитектура U-Net позволяет сохранить пространственное разрешение выходного тензора благодаря симметричной структуре энкодера и декодера [8].

Для решения задачи обнаружения изменений существуют два основных подхода к объединению признаков: позднее слияние на базе сиамских сетей и раннее слияние [7]. Сиамские сети извлекают признаки из каждого изображения независимо, однако они требуют значительных объёмов обучающей выборки для корректной настройки весов метрического пространства. В условиях сильно ограниченного набора данных метод раннего слияния, при котором исходные изображения I_1 и I_2 конкатенируются по каналам в единый тензор $X \in \mathbf{R}^{H \times W \times 2}$, где \mathbf{R} – множество вещественных чисел; что позволяет достичь большей устойчивости и сходимости. В качестве базовой модели в настоящей работе выбрана архитектура U-Net++. Основным недостатком классического U-Net является семантический разрыв между низкоуровневыми признаками энкодера и высокоуровневыми абстракциями декодера. U-Net++ решает эту проблему за счёт введения свёрточных слоёв на путях проброшенных связей (skip connections). Вычисление карт признаков $x^{i,j}$ для узла на уровне i и индексе j в архитектуре U-Net++ математически описывается следующим образом:

$$x^{i,j} = \begin{cases} \mathcal{H}(x^{i-1,j}), & j = 0, \\ \mathcal{H}\left(\left[\left[x^{i,k}\right]_{k=0}^{j-1}, \mathcal{U}(x^{i+1,j-1})\right]\right), & j > 0, \end{cases}$$

где $\mathcal{H}(\cdot)$ – операция свертки с последующей функцией активации; $\mathcal{U}(\cdot)$ – операция повышения дискретизации; $[\cdot]$ – операция конкатенации тензоров.

Использование избыточно сложных моделей с большим количеством параметров (например, многослойных реализаций ResNet-101 или EfficientNet) часто оказывается нецелесообразным. При обучении на малых выборках это неизбежно приводит к эффекту переобучения – сеть начинает «запоминать» шум обучающих данных, теряя обобщающую способность. По этой причине в качестве энкодера была выбрана архитектура ResNet-34. Использование остаточных связей (residual connections) позволяет эффективно бороться с затуханием градиента. ResNet-34 обеспечивает баланс между способностью извлечения сложных текстур городских застроек и сравнительно небольшим количеством параметров.

2. Формирование набора данных и предварительная обработка

Одной из проблем применения методов глубокого обучения в задачах ДЗЗ является острая нехватка качественных размеченных датасетов. В рамках настоящего исследования нейросетевая модель обучалась на ограниченной выборке, сформированной из высококоде-

тальных изображений уровня обработки L2B [9], полученных в результате площадной съёмки.

В качестве исходных данных для обучения и тестирования модели использовались 17 пар снимков из области пересечения изображений. Размер каждого исходного изображения составлял 1286×1429 пикселей. Для каждой пары снимков (I_1, I_2) оператором была подготовлена эталонная бинарная маска изменений M_{true} , выполненная методом ручной разметки.

Ввиду ограниченности объёма входных данных и значительного размера исходных изображений, был применен метод формирования обучающих выборок на основе нарезки фрагментов (патчей). Исходные снимки и соответствующие им маски были разбиты на фрагменты фиксированного размера 256×256 пикселей. Для повышения репрезентативности выборки нарезка производилась со скользящим окном с перекрытием в 128 пикселей. В результате данной процедуры суммарный объём сформированного набора данных составил 1530 пар фрагментов.

Помимо малого размера, подготовленный набор данных характеризовался сильным дисбалансом классов: целевого класса «изменения» (изменившиеся объекты застройки, дорожной инфраструктуры и т.д.) и класса отсутствия изменений (неизменная растительность и т.д.).

Структурные изменения занимают менее 15-20% площади анализируемых пар фрагментов. При прямом обучении на таких данных градиенты от доминирующего фонового класса подавляют сигнал от редких целевых объектов, что ведет к смещению предсказаний нейронной сети в сторону фона и снижению чувствительности алгоритма к реальным изменениям.

Для минимизации риска переобучения и повышения инвариантности модели к ошибкам был применен стохастический подход к аугментации данных:

- 1) пространственные преобразования: случайные отражения по вертикали и горизонтали, повороты на углы, кратные 90° , а также упругие искажения (Grid Distortion) и случайные микросдвиги. Это позволило сымитировать погрешности геодезической привязки и эффекты параллакса, возникающие при изменении углов наблюдения высотных объектов;
- 2) радиометрические преобразования: случайное независимое изменение яркости и контраста входных изображений. Данная техника делает сеть устойчивой к изменениям освещенности, обусловленной возможной различной частотой сканирования и числом строк накопления съёмочной аппаратуры.

Все тензоры перед подачей в нейронную сеть подвергались масштабированию значений пикселей в диапазоне $[0, 1]$ (min-max нормализация).

3. Обучение нейросетевой модели

Процесс обучения свёрточной нейронной сети сводится к итеративной оптимизации весовых коэффициентов с целью минимизации функции потерь. В связи с упомянутой ранее проблемой дисбаланса классов, использование стандартной бинарной перекрёстной энтропии (Binary Cross-Entropy) приводит к смещению предсказаний модели в сторону мажоритарного класса. Для решения данной проблемы в работе использована комбинированная функция потерь, состоящая из фокальной (Focal Loss) и функции потерь на основе коэффициента Дайса (Dice Loss).

Фокальная функция потерь обладает механизмом фокусировки – модифицирует стандартную кросс-энтропию введением модулирующего множителя, который автоматически снижает вес «легких» примеров (т.е. уверенно распознаваемого фона) и заостряет внимание сети на сложных участках (например, границах измененных объектов):

$$\mathcal{L}_{Focal} = -\alpha_t (1 - p_t)^\gamma \log(p_t),$$

где p_t – вероятность предсказания истинного класса; γ – фокусирующий параметр (обычно $\gamma = 2$); α_t – балансирующий коэффициент.

Функция потерь на основе коэффициента Дайса (Dice Loss), в свою очередь, оптимизирует метрику перекрытия площадей, что делает её инвариантной к количеству фоновых пикселей:

$$\mathcal{L}_{Dice} = 1 - \frac{2 \sum_{x,y} M_{true}(x,y) \hat{M}(x,y) + \epsilon}{\sum_{x,y} M_{true}(x,y) + \sum_{x,y} \hat{M}(x,y) + \epsilon},$$

где ϵ – малая константа для предотвращения деления на ноль. Итоговая целевая функция потерь рассчитывалась как линейная комбинация: $\mathcal{L}_{total} = \mathcal{L}_{Focal} + \mathcal{L}_{Dice}$.

В качестве алгоритма оптимизации градиентного спуска применялся AdamW (Adam with Weight Decay). В отличие от классического Adam, данный оптимизатор корректно реализует L_2 -регуляризацию (weight decay = 10^{-3}), что дополнительно снижает риск переобучения на малой выборке.

Для управления скоростью обучения (Learning Rate, LR) в настоящей работе применен планировщик Cosine Annealing LR. Данный метод обеспечивает монотонное и плавное снижение LR по косинусоидальному закону на протяжении всего цикла обучения, составившего 100 эпох. Изменение шага обучения η_t на эпохе t описывается следующим выражением:

$$\eta_t = \eta_{min} + \frac{1}{2} (\eta_{max} - \eta_{min}) \left(1 + \cos \left(\frac{T_{cur}}{T_{max}} \pi \right) \right),$$

где $\eta_{max} = 10^{-3}$ – начальная скорость обучения; $\eta_{min} = 10^{-6}$ – конечное минимальное значение; $T_{max} = 100$ – общее количество эпох.

В ходе эксперимента обучающая выборка, состоящая из 1530 пар фрагментов, была разделена на тренировочную (80%, 1224 пар) и тестовую (20%, 306 пар) подвыборки. Мониторинг функции потерь на тестовой выборке показал, что модель к 100-й эпохе обучения достигла стабильности ($\mathcal{L}_{test} \approx 0.1755$). Дальнейшее обучение привело к стагнации и последующему росту ошибки на тестовой выборке на фоне падающей ошибки на обучающей выборке (рис. 1).

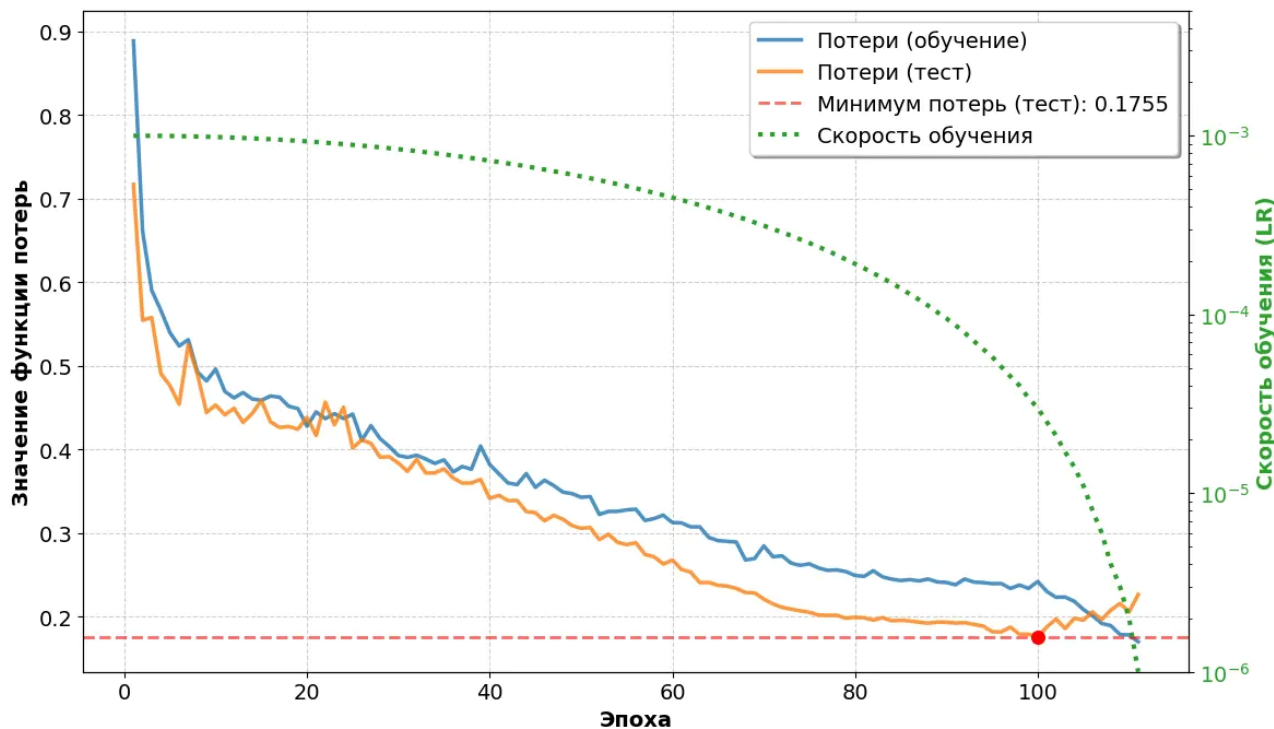


Рис. 1. График зависимости функции потерь на тренировочной (синяя линия) и тестовой (оранжевая линия) подвыборках, скорости обучения (зелёная пунктирная линия) от номера эпохи; минимальное значение функции потерь на тестовой подвыборке (красная пунктирная линия)

4. Оценка качества обнаружения изменений

Для количественной оценки качества автоматического выделения изменений использовались стандартные метрики семантической сегментации, вычисляемые на основе матрицы ошибок (Confusion Matrix). Значения истинно-положительных (TP), ложно-положительных (FP), ложно-отрицательных (FN) и истинно-отрицательных (TN) срабатываний суммировались по всем 306 парам изображений независимой тестовой выборки, после чего вычислялись итоговые показатели. Такой подход исключает искажение метрик, возникающее при простом усреднении результатов по небольшим фрагментам. Экспериментальные исследования на тестовой выборке показали, что обученная модель U-Net++ с энкодером ResNet-34 достигает следующих показателей качества:

- 1) точность обнаружения $\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} = 0,8821$;
- 2) полнота $\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} = 0,8648$;
- 3) F-мера $F_1\text{-score} = 2 \cdot \frac{\text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} = 0,8734$;
- 4) качество перекрытия контуров $\text{IoU} = \frac{TP}{TP + FP + FN} = 0,7752$;
- 5) общая точность $\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} = 0,9889$;
- 6) специфичность $\text{Specificity} = \frac{TN}{TN + FP} = 0,9946$.

Высокие значения Accuracy (0,9889) и Specificity (0,9946) обусловлены доминированием фонового класса и способностью нейросети уверенно подавлять ложные срабатывания

на неизменных участках. Однако истинным показателем эффективности модели в задачах поиска изменений является метрика IoU (0,7752) и сбалансированная F_1 -мера (0,8734), демонстрирующие высокую степень совпадения предсказанных контуров изменений с эталонной экспертной разметкой. Ранее было установлено, что алгоритм на основе текстурного анализа с применением фильтров Габора обеспечивает метрику IoU на уровне 0,34. Метод на основе нечётких мер сходства гистограмм показал IoU, равный 0,29.

Для качественной оценки работы разработанной модели и подтверждения её обобщающей способности был проведён визуальный анализ (рис. 2) предсказаний на фрагментах изображений из обучающей (рис. 2а-в) и тестовой (рис. 2г-е) выборок. Каждая визуализация включает исходные изображения I_1 (рис. 2а, 2г), I_2 (рис. 2б, 2д) и маску предсказаний (рис. 2в, 2е). Красным цветом на рис. 2в обозначена эталонная маска (ground truth), сформированная оператором, синим цветом – предсказание нейросети. Анализ валидационного фрагмента подтверждает высокую обобщающую способность архитектуры U-Net++. Несмотря на наличие геометрических искажений и теней от высотных объектов, модель уверенно выделяет значимые изменения. Скорость выполнения обученной модели составляет 15 Мбайт/с на графическом ускорителе NVIDIA Tesla T4.

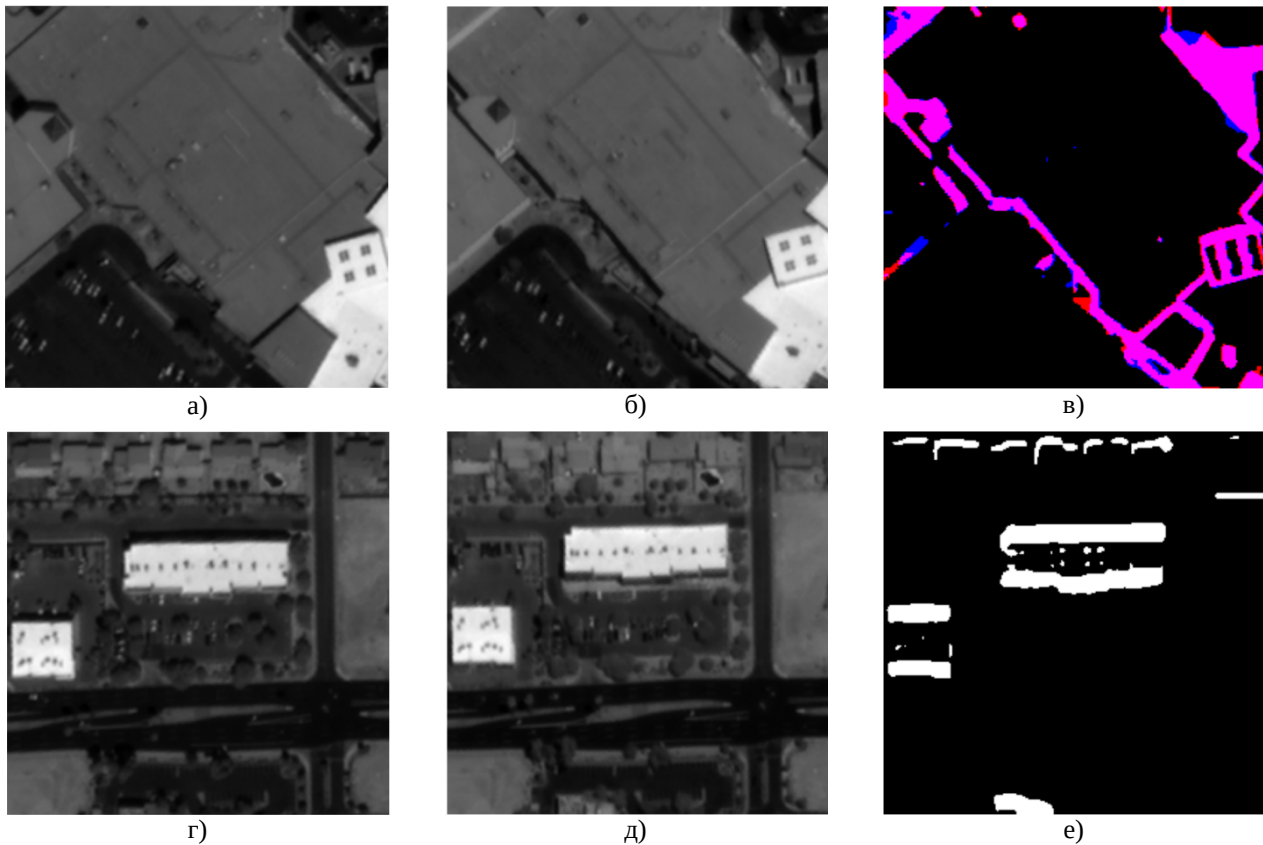


Рис. 2. Результаты обнаружения изменений

Заключение

Обработка данных площадной съёмки сопряжена с решением ряда научно-технических задач. Разработка надёжного алгоритма обнаружения изменений позволит выполнять автоматическое проведение линий пореза мозаичных изображений для исключения деформаций земных объектов в области наложения. В настоящей работе проведено исследование применения методов искусственного интеллекта для обнаружения изменений, свойственных изображениям площадной съёмки. Разработана обучающая выборка, сформированная с применением методов геометрической и радиометрической аугментации. Приведено

описание процедуры обучения модели свёрточной нейронной сети и оценки качества обнаружения. Обученная модель позволила оперативно получать карты изменений схожие с результатами ручной разметки оператором.

Библиографический список

1. Геометрический синтез мозаичных снимков с использованием рациональных полиномов / М. М. Егин, А. Е. Кузнецов, В. И. Пошехонов, О. А. Пресняков // Цифровая обработка сигналов. – 2025. – № 3. – С. 10-16.
2. ГОСТ Р 70663-2023. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Общие требования к созданию динамических и мозаичных покрытий [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2023. – 16 с.
3. Remote Sensing Image Mosaicking: Achievements and Challenges [Текст] / X. Li и др. // IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine. – 2019. – Vol. 7, no. 4. – P. 8–22.
4. Optimal Seamline Detection for Orthoimage Mosaicking by Combining Deep Convolutional Neural Network and Graph Cuts [Текст] / L. Li и др. // Remote Sensing. – 2017. – Vol. 9, no. 7.
5. Горобченко А.С., Егин М.М. Исследование алгоритмов обнаружения изменений для обработки данных стерео и площадной съёмки // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2025: сб. тр. VIII междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. – Рязань: РГРТУ, 2025. – С. 123–130.
6. Горобченко А.С. Подбор параметров алгоритмов поиска изменений на изображениях площадной съёмки // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXX Всерос. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – Рязань: РГРТУ, 2025. – С. 124–125.
7. Change Detection Methods for Remote Sensing in the Last Decade: A Comprehensive Review [Электронный ресурс] / Cheng G., Huang Y., Li X., Lyu S., Xu Z., Zhao H., Zhao Q., Xiang S. // Remote Sensing. 2024. URL: <https://doi.org/10.3390/rs16132355> (дата обращения: 24.02.2026).
8. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation [Электронный ресурс] // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015. 2015. С. 234–241. URL: <https://arxiv.org/abs/1505.04597> (дата обращения: 24.02.2026).
9. ГОСТ Р 59480-2021. Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Уровни обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: Стандартинформ, 2021.

УДК 550.8.053; ГРНТИ 89.57.35

РАЗРАБОТКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПОЖАРОВ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «LANDSAT-8/9»

Е. Ю. Беляев, С.А. Ларюков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, egor2014.belyaev@mail.ru*

Аннотация. В работе представлена разработка геоинформационной системы (ГИС) для обнаружения пожаров на основе спутниковых изображений Landsat-8/9 Collection 2 Level-1. Рассмотрены алгоритмы пороговой классификации для формирования эталонных масок пожаров. Основное внимание уделено применению сверточной нейронной сети U-Net для сегментации очагов возгорания. Описана трехуровневая архитектура разработанного программного комплекса, включающая клиентскую часть на Vue.js, серверную часть на C# и сервис обработки данных на Python, который выполняет обработку спутниковых снимков. Приведены результаты тестирования системы на реальных спутниковых данных, демонстрирующие эффективность предложенного подхода.

Ключевые слова: геоинформационная система, Landsat-8/9, обнаружение пожаров, глубокое обучение, сверточная нейронная сеть, U-Net.

DEVELOPMENT OF A GEOINFORMATION SYSTEM FOR ACTIVE FIRE DETECTION BASED ON EARTH REMOTE SENSING DATA «LANDSAT-8/9»

E.Y. Belyaev, S.A. Laryukov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, egor2014.belyaev@mail.ru*

Abstract. This paper presents the development of a geoinformation system (GIS) for detecting fires based on Landsat-8/9 Collection 2 Level-1 satellite images. Threshold classification algorithms are considered for generating reference fire masks. The main focus is on using the U-Net convolutional neural network for fire segmentation. The paper describes the three-tier architecture of the developed software suite, including the Vue client-side component.js, a C# server-side part and a Python data processing service that performs processing of satellite images. The results of testing the system on real satellite data are given, demonstrating the effectiveness of the proposed approach.

Keywords: geoinformation system, Landsat-8/9, fire detection, deep learning, convolutional neural network, U-Net.

Введение

Спутниковый мониторинг является ключевым инструментом для обнаружения и оценки последствий природных пожаров. Данные программы Landsat, в частности сенсоров OLI/TIRS спутника Landsat-8/9, благодаря высокому пространственному разрешению (30 м) и наличию инфракрасных каналов, предоставляют уникальную возможность для детального анализа термических аномалий. Традиционные алгоритмы обнаружения пожаров основаны на пороговых значениях отражательной способности в различных спектральных диапазонах и контекстном анализе. Однако развитие алгоритмов глубокого обучения открывает новые перспективы для повышения точности сегментации очагов возгорания.

Целью работы является создание технологии мониторинга пожаров. Для достижения цели необходимо решить задачи:

- исследовать алгоритмы обнаружения пожаров по спутниковым данным и особенности снимков Landsat-8/9;
- спроектировать и реализовать трехуровневую архитектуру веб-приложения для загрузки, анализа и визуализации спутниковых данных;
- выполнить тестирование и оценку точности разработанных алгоритмов на реальных данных.

Алгоритм обнаружения пожаров

В работе используются данные набора Landsat Collection 2 Level-1 (OLI/TIRS C2 L1). Основное внимание уделяется каналам, чувствительным к термическим аномалиям: коротковолновый инфракрасный (канал 7, 2.11–2.29 мкм), ближний инфракрасный (канал 6, 1.57–1.65 мкм) и видимый синий (канал 2, 0.45–0.51 мкм) [1], которые применяются для визуализации и обучения нейронной сети.

Для формирования эталонных масок пожаров используется комбинация трех пороговых алгоритмов.

1. В работе Schroeder et al. (2016) [2] предложен набор условий, который использует семь каналов для идентификации огня в окне 61×61 пиксель:

$$((R_{75} > 2.5) \text{ И } (\rho_7 - \rho_3 > 0.3) \text{ И } (\rho_7 > 0.5)) \text{ ИЛИ} \\ ((\rho_6 > 0.8) \text{ И } (\rho_1 < 0.2) \text{ И } (\rho_5 > 0.4 \text{ И } \rho_7 > 0.5)),$$

где R_{ij} – отношение коэффициента отражения в каналах i и j (ρ_i / ρ_j).

2. В работе Murphy et al. (2016) [3] предложены условия для каналов 5, 6 и 7, а также учёт насыщенных пикселей:

$$(R_{76} > 1.4) \text{ И } (R_{75} \geq 1.4) \text{ И } (\rho_7 \geq 0.15)$$

3. В работе Kumar and Roy (2018) [4] предложены эмпирические правила, связывающие отражательную способность в видимом и инфракрасном диапазонах:

$$\rho_4 \leq 0.53\rho_7 - 0.214$$

и сохраняются только в том случае, если они удовлетворяют контекстуальному тесту:

$$((R_{75} > \mu R_{75} + \max(3\sigma R_{75}, 0.8)) \text{ И } (\rho_7 > \mu_{\rho_7} + \max(3\sigma_{\rho_7}, 0.08)),$$

где R_{75} – отношение коэффициента отражения в каналах 7 и 5 (ρ_7 / ρ_5), а μ и σ – среднее и стандартное отклонение пикселей в окрестности вокруг каждого пикселя-кандидата.

Итоговая бинарная маска формируется алгоритмом голосования «Voting» с порогом ≥ 1 , т.е. пиксель считается пожарным, если хотя два из трех алгоритмов классифицирует его таковым.

Для сегментации пожаров выбрана архитектура сверточной нейронной сети U-Net [5] с конфигурацией, использующей 64 фильтра, двойную свертку и входные каналы B7, B6, B2. Обучение модели проводится на фрагментах изображений размером 256×256 пикселей в течение 15 эпох с размером пакета, равным 4. Датасет разделен на обучающую (80%), валидационную (19%) и тестовую (1%) выборки [6]. Реализация модели выполнена с использованием кода из открытого репозитория [7]. Для предотвращения переобучения применяется механизм ранней остановки: обучение автоматически прекращается, если значение функции потерь на валидационной выборке не улучшается в течение 5 последовательных эпох.

Нейросетевая модель обучена за 15 эпох. Для оценки качества обучения использованы следующие метрики сегментации:

1) точность – доля правильно обнаруженных пикселей пожара среди всех пикселей, отнесенных моделью к классу «пожар»:

$$R = \frac{TP}{TP + FP},$$

где TP – количество пикселей, верно классифицированных как пожар (истинно-положительные), FP – количество пикселей фона, ошибочно отнесенных к пожару (ложно-положительные);

2) полнота – доля обнаруженных пикселей пожара от общего числа реальных пикселей пожара:

$$R = \frac{TP}{TP + FN},$$

где FN – количество пикселей пожара, пропущенных моделью (ложноотрицательные);

3) F-мера – гармоническое среднее точности и полноты, позволяющее оценить сбалансированность модели:

$$F = 2 \frac{PR}{P + R};$$

4) коэффициент Жаккара – отношение площади пересечения предсказанной и истинной маски пожара к площади их объединения, являющееся стандартной метрикой для задач сегментации:

$$IoU = \frac{TP}{TP + FP + FN}.$$

По результатам обучения получены следующие показатели качества сегментации на тестовой выборке: $P = 0.770$, $R = 0.982$, $F = 0.864$, $IoU = 0.760$.

Высокое значение F-меры (0.864) свидетельствует о хорошем балансе между полнотой и точностью обнаружения пожарных пикселей. Полнота 98.2% говорит о высокой общей доле правильно классифицированных пикселей изображения.

Веб приложение мониторинга пожаров

Разработанная ГИС имеет трехуровневую архитектуру, обеспечивающую четкое разделение ответственности между компонентами (рисунок 1).

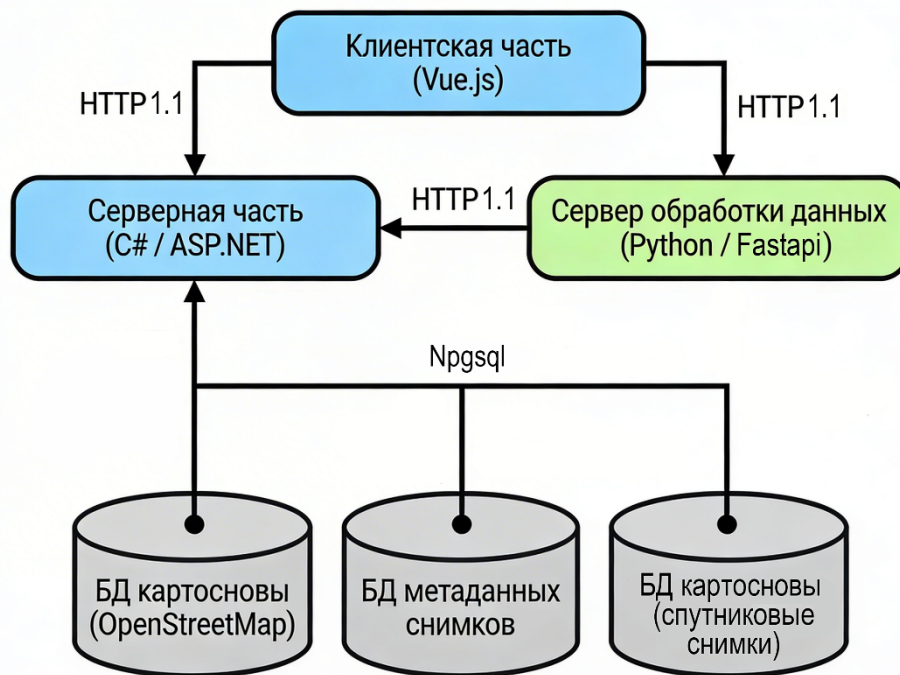


Рис. 1. Трехуровневая архитектура геоинформационной системы

1. Клиентская часть (Vue.js + Vite): отвечает за отображение картографической информации, пользовательское взаимодействие (загрузка файлов, выбор действий) и визуализацию результатов обработки (маски, выделенные пожары).

2. Серверная часть (C#, ASP.NET Core): выступает центральным узлом системы. Обработывает запросы от клиентской части, управляет данными через Entity Framework Core (PostgreSQL), хранит метаданные снимков и координирует работу вычислительного модуля.

3. Сервис обработки данных (Python, FastAPI): изолированный микросервис, выполняющий ресурсоемкие вычислительные задачи: чтение GeoTIFF, числовые расчеты, предобработку данных и применение обученной модели U-Net с помощью библиотек `orencsv-python`.

Взаимодействие между уровнями осуществляется посредством синхронных HTTP-запросов. Клиентская часть отправляет запросы к API серверной части на C#, которая при необходимости инициирует вычислительные задачи в Python-сервисе и возвращает результаты пользователю.

Хранение данных организовано в трех базах PostgreSQL. Основная база данных хранит метаданные спутниковых снимков Landsat – таблица `GeoImage` содержит идентификатор снимка, дату съёмки, уровень облачности и географический контур. Две дополнительные базы данных обеспечивают картографическую основу для визуализации:

– в первой хранятся растровые фрагменты карты «OpenStreetMap», используемые для 2D карты;

– во второй – спутниковые фрагменты карты, необходимые для 3D сцены.

Разработанное веб-приложение предоставляет пользователю 2D и 3D интерфейс для работы со спутниковыми данными (рисунок 2).

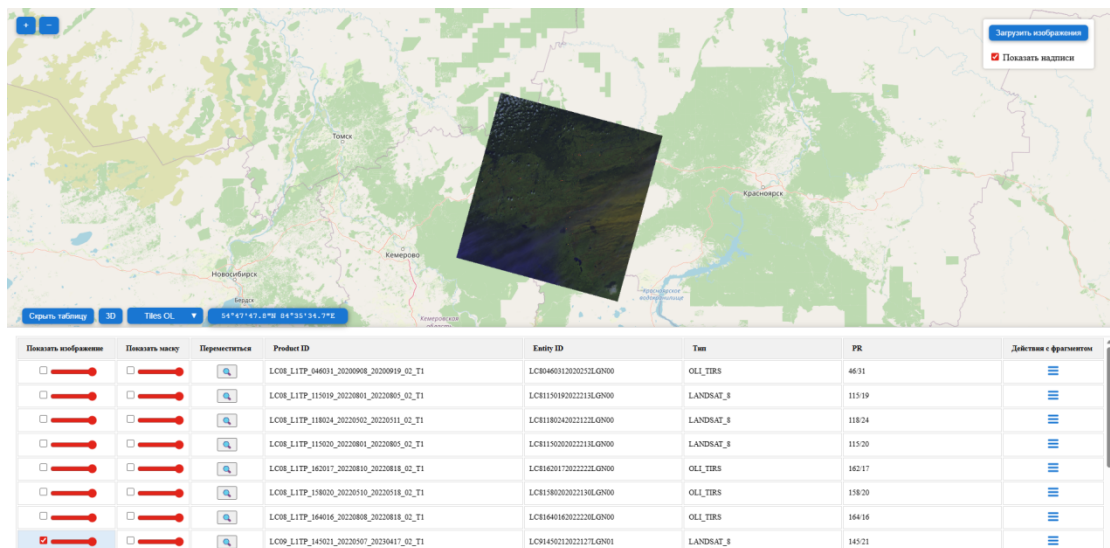


Рис. 2. Интерфейс приложения

В качестве картографической основы используются фрагменты карты, предварительно загруженные в локальное хранилище. Они охватывают территорию интереса с максимальным уровнем детализации до 8-го масштаба, что соответствует обзорному уровню с разрешением примерно 600 метров на пиксел, на котором территория области делится на 256 столбцов и 256 строк (всего 65 536 фрагментов).

Для отображения 2D карт задействована библиотека OpenLayers (OL), а для 3D визуализации – платформа CesiumJS, позволяющая работать с глобусом и рельефом.

Функциональное тестирование приложения подтверждает его работоспособность на всех этапах обработки спутниковых снимков Landsat-8/9. Рассмотрим их подробнее.

1. Загрузка данных. Пользователь через веб-интерфейс выбирает и загружает папку со снимком Landsat-8/9. Интерфейс отображает прогресс загрузки и уведомления об успешном завершении. После загрузки метаданные снимка сохраняются в основной базе данных (PostgreSQL), а файлы размещаются в структурированном хранилище.

2. Предобработка и визуализация композита. Серверная часть на C# инициирует задачу в Python-сервисе, который выполняет объединение семи спектральных каналов и формирует составное изображение (с акцентом на каналы 7, 6, 2). Полученное изображение передается обратно на клиентской части и отображается как слой поверх 2D карты либо накладывается на 3D сцену. Тестирование подтверждает корректную привязку изображения к географическим координатам и его точное совмещение с фрагментами карты из соответствующих баз данных.

3. Генерация маски пожара. По команде пользователя запускается процесс формирования маски с использованием предобученной модели U-Net. Python-сервис загружает веса модели, применяет её к выбранному фрагменту и возвращает бинарную маску. Результат сохраняется в базе данных и становится доступным для визуализации.

4. Обнаружение пожара и визуализация результатов. Система анализирует полученную маску и формирует вердикт о наличии или отсутствии пожара. Маска пожара отображается на карте в виде полупрозрачного слоя (например, красной заливкой). Пользователь мо-

жет переключаться между 2D и 3D режимами, чтобы оценить пространственное распределение очагов. На 3D сцене маска корректно проецируется на рельеф и фрагментную подложку.

На рисунках 4–6 приведены примеры интерфейса: 2D карта с наложенным композитом (рисунок 4), 3D сцена с маской пожара (рисунок 5) и диалоговое окно с результатами анализа (рисунок 6).

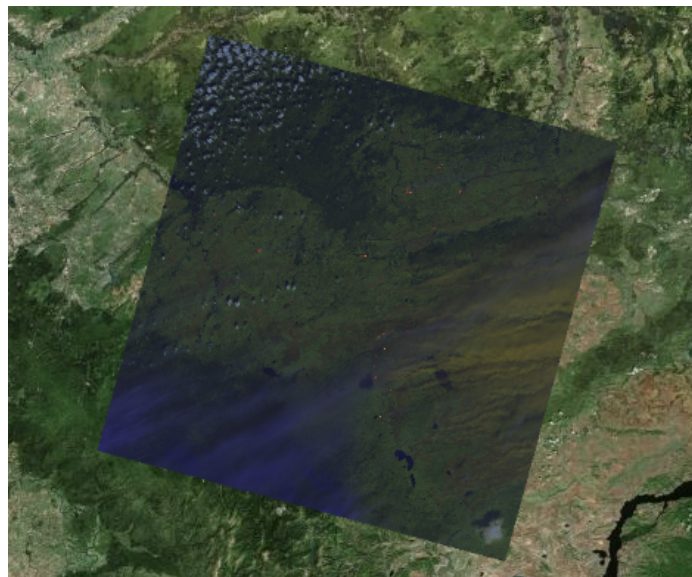


Рис. 4. 2D интерфейс с изображением

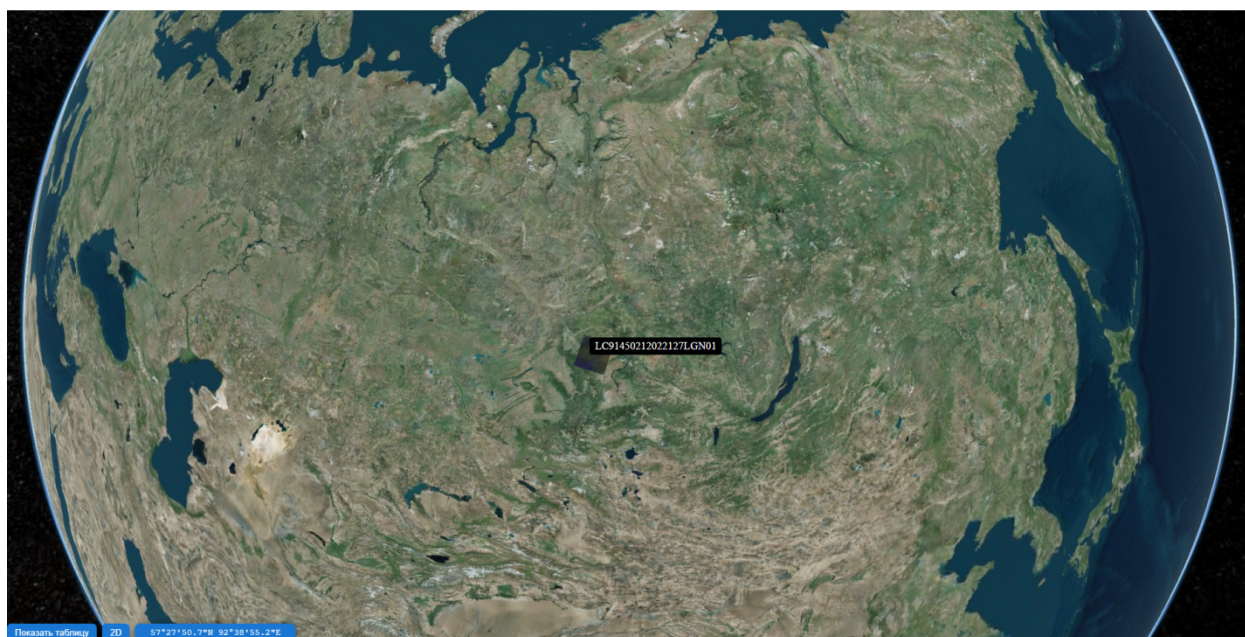




Рис. 5. 3D сцена с изображением

Действия с фрагментом

Entity ID: LC80460312020252LGN00

Product ID: LC08_L1TP_046031_20200908_20200919_02_T1

Объединить каналы изображения (7) 

Сформировать маску 

Статус пожара:  Пожар обнаружен

Закреть

Рис. 6. Интерфейс по работе с загруженными изображениями

Заключение

В результате выполнения работы были решены все поставленные задачи: проведён анализ алгоритмы обнаружения пожаров по спутниковым данным и особенностей снимков Landsat-8/9; спроектирована и реализована трехуровневая архитектура веб-приложения, включающая клиентскую часть на Vue.js, серверную часть на C# и сервис обработки данных на Python; выполнено тестирование и оценка точности разработанных алгоритмов на реальных спутниковых данных, подтвердившие эффективность предложенного подхода.

Таким образом, цель работы, заключающаяся в создании технологии мониторинга пожаров на основе анализа спутниковых изображений Landsat-8/9, достигнута. Разработанная геоинформационная система интегрирует классические алгоритмы детектирования пожаров и модель глубокого обучения U-Net, что позволяет автоматизировать процесс выявления очагов возгорания, повысить его точность и снизить зависимость от субъективных факторов, присущих пороговым алгоритмам.

В рамках дальнейшего развития разработанной геоинформационной системы планируется несколько направлений. Прежде всего предполагается совершенствование модели глубокого обучения – экспериментирование с архитектурами сверточных нейронных сетей, а также увеличение обучающей выборки за счёт новых изображений, что позволит повысить точность сегментации и устойчивость к ложным срабатываниям. Следующее направление – расширение функциональных возможностей веб-приложения, включая прогнозирование динамики пожаров, построение карт рисков и интеграцию с системами раннего оповещения. Также планируется оптимизация производительности – внедрение асинхронной очереди задач (например, на базе Kafka) для обработки больших объёмов данных без блокировки пользовательского интерфейса и масштабирование серверной части с использованием контейнеризации и оркестрации (Docker, Kubernetes). Кроме того, предполагается развертывание системы в облачной инфраструктуре для обеспечения доступности широкому кругу пользователей и возможности её коммерциализации.

Библиографический список

1. USGS. Band designations for the Landsat satellites [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites> (дата обращения: 07.01.2026).

2. Schroeder W., Oliva P., Giglio L., Csiszar I. Active fire detection using Landsat-8/OLI data // Remote Sensing of Environment. – 2016. – Vol. 185. – P. 210-220.
3. Murphy S.W., de Souza Filho C.R., Wright R., Sabins F. Hot targets on the Amazon: mapping fires with Landsat-8 // Remote Sensing Letters. – 2016. – Vol. 7, № 6. – P. 551-560.
4. Kumar S.S., Roy D.P. Global operational land imager (OLI) based active fire detection algorithm theoretical basis document. – 2018.
5. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI). – Springer, 2015. – Vol. 9351. – P. 234-241.
6. Pereira A.A., de Carvalho O.L.F., Trancoso Gomes R.A., de Carvalho Júnior O.A. Active Fire Detection in Landsat-8 Imagery: A Large-Scale Dataset and a Deep-Learning Study // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – 2021. – Vol. 14. – P. 798-811.
7. ActiveFire Project [Электронный ресурс] / Pereira-GHA. – Режим доступа: <https://github.com/pereira-gha/activefire> (дата обращения: 06.01.2026).

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ СЕТЕЙ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Аббас Ражаб

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, abbas.r95@mail.ru*

Аннотация. Статья посвящена исследованию возможностей совместного применения математических моделей и методов искусственного интеллекта в задачах повышения отказоустойчивости сетей с программным управлением (Software-Defined Networking, SDN). Анализируются ограничения классических вероятностных подходов к оценке надёжности сетевой инфраструктуры и обосновывается необходимость их дополнения инструментами машинного обучения и интеллектуального прогнозирования. Рассматриваются ключевые теоретические основания интеграции, приводятся базовые формальные зависимости, а также проводится сравнение актуальных методов по критериям точности, адаптивности и верифицируемости. Определяются перспективные направления развития данного исследовательского поля.

Ключевые слова: программно-определяемые сети, отказоустойчивость, искусственный интеллект, математические модели, машинное обучение, надёжность, прогнозирование отказов, SDN-контроллер.

PROSPECTS FOR THE INTEGRATION OF MATHEMATICAL MODELS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS TO INCREASE THE FAULT TOLERANCE OF SOFTWARE-CONTROLLED NETWORKS

Rajab Abbas

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, abbas.r95@mail.ru*

Abstract. The article examines the prospects of integrating mathematical models and artificial intelligence methods to improve fault tolerance of Software-Defined Networks (SDN). The limitations of classical probabilistic approaches to network reliability assessment are analyzed, and the need to supplement them with machine learning and intelligent prediction tools is substantiated. Key theoretical foundations for integration are considered, basic formal dependencies are presented, and current methods are compared by accuracy, adaptability, and verifiability criteria. Promising directions for further development in this research field are identified.

Keywords: software-defined networks, fault tolerance, artificial intelligence, mathematical models, machine learning, reliability, failure prediction, SDN controller.

Введение

Современные информационные инфраструктуры демонстрируют устойчивую тенденцию к усложнению: рост числа взаимодействующих узлов, переход к микросервисным и облачным архитектурам, увеличение объёмов динамически маршрутизируемого трафика – всё это кардинально меняет требования к надёжности сетевых решений.

В данном контексте парадигма программно-определяемых сетей приобретает особое значение, поскольку она разделяет плоскость управления и плоскость передачи данных, открывая возможности для централизованного, программируемого управления сетевой топологией [1]. Гибкость архитектуры SDN позволяет формировать алгоритмически управляемые реакции на изменения в сети, что принципиально отличает её от традиционных распределённых решений.

Вместе с тем подобная централизация несёт в себе структурный риск – сбой в контроллере SDN или нарушение взаимодействия между управляющими компонентами способны повлечь деградацию всей сети.

Классические методы теории надёжности – марковские модели, анализ деревьев отказов, моделирование методом Монте-Карло – дают строгое математическое описание вероятностных характеристик системы, однако их применимость ограничивается условиями стационарности и независимости отказов, которые в реальных сетях нередко не выполняются [3]. Нелинейность трафика, скрытые корреляции между событиями деградации и изменчивость нагрузки требуют более адаптивных инструментов анализа.

Проблема отказоустойчивости приобретает особую остроту по мере расширения сферы применения SDN – от корпоративных сетей до телекоммуникационных операторов, дата-центров и объектов критической инфраструктуры.

В каждом из этих контекстов простой или деградация сервиса влечёт за собой экономические и операционные потери, масштаб которых несопоставим с затратами на превентивные меры. Именно поэтому вопрос не просто о том, как зафиксировать отказ, а о том, как его предотвратить – становится центральным в современном сетевом инжиниринге.

Искусственный интеллект и методы машинного обучения открывают возможности, дополняющие классический аппарат надёжности. По оценкам аналитиков, глобальный рынок машинного обучения вырастет с 91,31 млрд долл. в 2025 году до 1,88 трлн долл. к 2035 году, что отражает масштаб ожиданий от данной технологии [10].

При этом организации, инвестирующие в ИИ, вынуждены эволюционировать и в части управления данными – обеспечивать их качество, прослеживаемость и готовность к использованию в интеллектуальных системах [9]. Это требование в полной мере распространяется и на задачи управления сетевой инфраструктурой, где достоверность телеметрии является условием работоспособности любой прогностической модели.

Интеграция математических моделей и методов ИИ в задачах управления отказоустойчивостью SDN – это направление, способное обеспечить синергетический эффект: формальная строгость первых дополняется адаптивностью и прогностическими возможностями вторых.

Подобный синтез не является умозрительным, он опирается на уже сложившиеся практики построения отказоустойчивых распределённых систем управления технологическими процессами с элементами искусственного интеллекта [3], а также на опыт применения ИИ в обеспечении безопасности и надёжности информационных систем [7].

Методология исследования

В качестве методологической основы применялся комплексный подход, включающий анализ научной литературы, систематизацию существующих методов оценки надёжности сетевой инфраструктуры и синтез теоретических моделей. Рассматривались как отечествен-

ные публикации по вопросам применения ИИ в управлении информационными системами и безопасности [7], так и материалы в области управляемой моделями разработки систем искусственного интеллекта [4]. Параллельно анализировались данные ведущих аналитических агентств, в частности, отчёт Gartner Hype Cycle for Artificial Intelligence 2025, в котором зафиксированы ключевые тренды в области ИИ-агентов и готовности данных для задач ИИ [9].

В части формального описания отказоустойчивости использовались методы теории вероятностей и аппарат марковских цепей, а также классические показатели – среднее время наработки на отказ (MTBF) и среднее время восстановления (MTTR). Прогностические подходы рассматривались с опорой на исследования, посвящённые интеграции методики пошагового прогнозирования состояния сложных технических объектов в системы ИИ [6]. Сравнительный анализ подходов проводился по критериям точности, адаптивности к нестационарным условиям и верифицируемости результатов.

Результаты и обсуждение

Теоретические основы отказоустойчивости в архитектурах SDN

Программно-определяемая сеть функционирует как двухуровневая система: уровень передачи данных, представленный коммутаторами и маршрутизаторами, и уровень управления, реализованный SDN-контроллером. Контроллер формирует глобальное представление о топологии и генерирует правила обработки потоков, распространяя их по сети посредством протоколов взаимодействия. Именно этот компонент определяет как гибкость системы, так и её уязвимость.

Ключевым показателем надёжности отдельного узла или компонента сети служит коэффициент готовности – отношение среднего времени безотказной работы к сумме этого времени и среднего времени восстановления:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}, \quad (1)$$

где $MTBF$ – среднее время наработки на отказ;
 $MTTR$ – среднее время восстановления.

Функция надёжности, описывающая вероятность безотказной работы компонента на интервале t при постоянной интенсивности отказов λ , записывается в экспоненциальной форме:

$$R(t) = e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где λ – интенсивность отказов;
 t – рассматриваемый временной интервал.

Для резервированных конфигураций, в которых развёртывается группа из n независимых контроллеров, системный коэффициент готовности определяется через вероятность работоспособности хотя бы одного из них:

$$A_{sys} = 1 - (1 - A)^n \quad (3)$$

где A – коэффициент готовности одного контроллера;
 n – количество независимых контроллеров в резервированной конфигурации.

Данные соотношения образуют аналитическую основу оценки устойчивости сети. Однако реальный трафик обнаруживает нестационарные, пакетные и коррелированные паттерны, при которых постоянство λ является лишь приближением. Формирование отказоустойчивых распределённых систем управления с элементами ИИ позволяет выйти за рамки этого допущения, обеспечивая адаптивную коррекцию прогнозов в условиях меняющейся нагрузки [3].

Методы искусственного интеллекта в задаче прогнозирования отказов

Алгоритмы машинного обучения – рекуррентные нейронные сети, архитектуры LSTM, методы аномального обнаружения на основе автоэнкодеров – обрабатывают непрерывные потоки сетевой телеметрии и выявляют предвестники деградации задолго до того, как метрики пересекут пороговые значения.

Интеграция пошагового прогнозирования состояния сложных технических объектов в системы ИИ позволяет строить многошаговые горизонты предсказания с поэтапным уточнением оценок остаточного ресурса каждого компонента [6]. Применительно к SDN это означает возможность за 5-10 минут до наступления перегрузки контроллера инициировать превентивную перемаршрутизацию или динамическое масштабирование управляющей плоскости.

Отдельного внимания заслуживает управляемая моделями разработка систем ИИ, при которой поведение интеллектуального агента формализуется на этапе проектирования, что существенно упрощает верификацию алгоритмов управления сетью ещё до их производственного развёртывания [4].

Данный подход особенно ценен в критических инфраструктурах, где цена непроверенного решения недопустимо высока.

Широкое внедрение ИИ в бизнес-процессы, включая оптимизацию распределённой инфраструктуры и мониторинг в режиме реального времени, свидетельствует о том, что интеллектуальные решения в управлении сложными системами перестают быть экспериментальными и становятся производственным стандартом [8]. Аналитики Gartner подчёркивают, что в 2025 году ИИ-агенты и готовность данных для задач ИИ занимают позиции пика завышенных ожиданий – это означает зрелость технологий для масштабного применения в том числе в сетевом управлении [9].

Безопасность интеллектуального контроллера SDN составляет отдельную задачу: компрометация управляющей плоскости ведёт к потере управляемости всей сети. Применение ИИ в обеспечении безопасности информационных систем позволяет не только детектировать атаки в режиме реального времени, но и прогнозировать аномальное поведение, характерное для подготовки к вторжению [7]. Правовая база для экспериментального внедрения подобных решений в критической инфраструктуре формируется в рамках режимов цифровых и технологических инноваций [2], что создаёт организационные предпосылки для пилотных проектов.

Перспективным вектором остаётся и использование ИИ на этапе разработки программного обеспечения управляющей плоскости: интеллектуальные инструменты генерации и верификации кода позволяют минимизировать количество программных дефектов, провоцирующих отказы ещё до ввода системы в эксплуатацию [5].

Сравнительный анализ методов обеспечения отказоустойчивости SDN

Для систематизации рассмотренных подходов ниже представлена сравнительная характеристика основных методов по ключевым критериям (таблица 1).

Таблица 1. Сравнительный анализ методов обеспечения отказоустойчивости SDN

Метод	Основа	Сильные стороны	Ограничения
Марковские модели	Теория вероятностей	Строгая формализация, аналитические решения	Предполагают стационарность, не учитывают нелинейность
Дерево отказов (FTA)	Логическая алгебра	Наглядность, декомпозиция причинно-следственных связей	Трудно обновлять при динамической смене топологии
Методы ML (LSTM, автоэнкодеры)	Нейронные сети	Адаптивность, работа с большими объёмами телеметрии	Требуют обширной обучающей выборки и интерпретируемости

Продолжение таблицы 1

Гибридные модели (ML + формальные методы)	Синергия подходов	Высокая точность прогноза при верифицируемых гарантиях	Высокая сложность, сопровождение	вычислительная затраты на
---	-------------------	--	----------------------------------	---------------------------

Источник: составлено автором по данным [3, 6, 9]

Данные таблицы 1 наглядно демонстрируют, что ни один из представленных подходов не является универсальным. Марковские модели и ФТА обеспечивают строгость доказательства надёжности, однако их предположения слабо соответствуют динамике реальных SDN-сред.

Методы машинного обучения превосходят их по адаптивности, но уступают в формальной верифицируемости – требовании, критически важном для сертификации решений в области критической инфраструктуры.

Гибридные подходы, объединяющие формальные вероятностные модели с интеллектуальными прогностическими алгоритмами, обеспечивают наилучший баланс между этими свойствами, хотя и требуют значительных вычислительных ресурсов и квалификации разработчиков.

Заключение

Проведённое исследование позволяет сформулировать ряд содержательных выводов относительно перспектив интеграции математических моделей и методов искусственного интеллекта в задачах повышения отказоустойчивости программно-определяемых сетей. Классические вероятностные модели – марковские цепи, функция надёжности, деревья отказов – задают строгий формальный каркас, в рамках которого возможна аналитически верифицируемая оценка поведения системы. Однако их предположения о стационарности распределений и независимости отказов расходятся с реалиями эксплуатации SDN-инфраструктуры, где трафик демонстрирует выраженную нелинейность, а отказы нередко носят каскадный характер.

Методы искусственного интеллекта, в особенности архитектуры глубокого обучения, ориентированные на временные ряды, и агентные системы управления привносят в эту арину адаптивность и прогностическую глубину, принципиально недостижимые аналитическими инструментами в нестационарных условиях. Их интеграция с пошаговыми методами прогнозирования состояния сложных технических объектов позволяет строить многогоризонтные оценки остаточного ресурса компонентов и заблаговременно инициировать превентивные меры. Это особенно значимо для SDN, где управляющая плоскость является единой точкой уязвимости всей сети. Вместе с тем масштабное практическое применение гибридных подходов сопряжено с рядом нерешённых задач. Среди них – обеспечение интерпретируемости прогностических моделей в контексте требований к верификации, снижение вычислительных издержек при работе в режиме реального времени, а также формирование достаточных обучающих выборок в условиях редкости отказов на стабильно работающих объектах. Управляемая моделями разработка систем ИИ предлагает методологический ответ на часть этих вызовов, перенося верификацию логики управления на этап проектирования.

Организационные и правовые условия для апробации подобных решений постепенно формируются: режим экспериментальных правовых пространств в сфере цифровых инноваций создаёт легитимную основу для пилотного внедрения интеллектуальных систем управления сетью в контролируемых средах.

Дальнейшее развитие данного направления представляется перспективным как в части фундаментальных исследований – уточнения формальных моделей и разработки новых архитектур обучения, так и в прикладном аспекте, ориентированном на стандартизацию мет-

рик оценки и создание тиражируемых решений для операторов связи и операторов критической инфраструктуры.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ (ред. от 24.06.2025) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2026) // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2006. – № 31 (ч. 1). – Ст. 3448. (дата обращения: 18.02.2026).
2. Федеральный закон от 31.07.2020 № 258-ФЗ (ред. от 31.07.2025) «Об экспериментальных правовых режимах в сфере цифровых и технологических инноваций в Российской Федерации» // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2020. – № 31 (ч. I). – Ст. 5017. (дата обращения: 18.02.2026).
3. Гончаров, А. В. Формирование методологических основ построения отказоустойчивых распределённых систем управления технологическими процессами с элементами искусственного интеллекта / А. В. Гончаров, М. А. Черкасова // Отходы и ресурсы. – 2025. – Т. 12, № 1. – DOI 10.15862/14ECOR125. – EDN TMEDAE.
4. Кейно, П. П. Управляемая моделью разработка систем искусственного интеллекта / П. П. Кейно, Н. А. Козырев, А. А. Силуянов // Москва: Издательство «Перо», 2023. – С. 144-145. – EDN KANENW.
5. Кочержинская, Ю. В. Перспективы использования технологий искусственного интеллекта в процессе разработки программного обеспечения / Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2024. – С. 94. – EDN SKERRQ.
6. Попова, Е. С. Интеграция методики пошагового прогнозирования состояния сложных технических объектов в системы искусственного интеллекта / Е. С. Попова, А. В. Нефедов // Искусственный интеллект. Теория и практика. – 2025. – № 4(12). – С. 87-89. – EDN WXRKPV.
7. Садриева, А. Ф. Применение искусственного интеллекта в обеспечении безопасности информационных систем / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 301-304. – EDN OBDXEG.
8. AI in business operations: driving urban growth and societal sustainability. [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <https://clck.ru/3Rsim2> (дата обращения: 18.02.2026).
9. Gartner Hype Cycle Identifies Top AI Innovations in 2025. [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <https://clck.ru/3RsogF> (дата обращения: 18.02.2026).
10. Machine learning statistics. [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <https://clck.ru/3RsohW> (дата обращения: 18.02.2026).

УДК 528.8; ГРНТИ 89.57.35

ОЦЕНКА БЕСШОВНОСТИ СПУТНИКОВЫХ МОЗАИК ПО ОКРЕСТНОСТЯМ ЛИНИЙ ПОРЕЗОВ

О.А. Пресняков, А.В. Соловьев, Ю.М. Барышев

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, foton@rsreu.ru

Аннотация. Целью работы является создание математической модели автоматической оценки бесшовности спутниковых мозаик, результат расчета с использованием которой совпадал бы с выводами, сделанными оператором. Оценка выполняется на основе признаков, рассчитываемых по окрестностям точек на линиях порезов. Проанализирована целесообразность учета при определении бесшовности статистических параметров (средних значений и среднеквадратических отклонений яркости), мер сходства фрагментов (коэффициентов корреляции), мер отличия (среднего модуля разности, среднеквадратического отклонения яркостей, среднеквадратического отклонения контурных компонент), морфологического градиента. Для этого построена регрессия в виде двухслойной нейросети на основе размеченной оператором выборки. Приведены результаты в виде весов признаков в обученной нейросети и достигаемой точности оценки. Сделан вывод о том, что наибольший вес имеют меры отличия фрагментов.

Ключевые слова: мозаичные спутниковые изображения, линии порезов, бесшовность, нейронная сеть.

ASSESSMENTS OF SEAMLESSNESS OF SATELLITE MOSAICS BASED ON CUT LINE NEIGHBOURHOODS

O.A. Presnyakov, A.V. Solovyev, Y.M. Baryshev

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, foton@rsreu.ru

The summary. The aim of this work is to develop a mathematical model for automatically assessing the seamlessness of satellite mosaics, the calculation results of which would coincide with the conclusions made by the operator. The assessment is based on features calculated from the neighborhoods of points on the cut lines. The feasibility of taking into account statistical parameters (mean values and standard deviations of brightness), fragment similarity measures (correlation coefficients), dissimilarity measures (mean modulus of difference, standard deviation of brightness, standard deviation of contour components), and morphological gradient when determining seamlessness is analyzed. For this purpose, a regression in the form of a two-layer neural network is constructed based on a sample labeled by the operator. The results are presented as feature weights in the trained neural network and the achieved assessment accuracy. It is concluded that fragment dissimilarity measures have the greatest weight.

Keywords: satellite mosaic, cut lines, seamlessness, neural network.

Введение

Мозаичные спутниковые снимки относятся к производным (базовым) продуктам, одному из основных типов данных дистанционного зондирования Земли, предоставляемых потребителям [1]. Одним из показателей качества таких снимков является бесшовность, т.е. визуальная незаметность линий стыка отдельных изображений в пределах мозаики [2]. Кроме определения качества мозаик, оценка незаметности линии стыка может быть использована в качестве стоимостной функции при автоматическом проведении линий порезов [3, 4]. Исследование направлено на создание математической модели на основе нейронной сети, позволяющей автоматически оценить визуальную незаметность линий порезов мозаики по их окрестностям. Параметры модели определяются на основе размеченной оператором выборки.

Постановка задачи

Пусть зона перекрытия двух изображений в мозаике представляет собой прямоугольную область размером $X \times Y$ пикселей, где X – число столбцов, Y – число строк. Представим изображения в зоне перекрытия двумерными дискретными функциями яркости $B_1(x, y)$ и $B_2(x, y)$, $x = 0, \dots, X - 1$, $y = 0, \dots, Y - 1$. Требуется определить, насколько незаметной будет линия стыка, если она пройдет через заданную точку. Обозначим функцию, вычисляющую степень заметности линии стыка, проходящей через точку (x, y) , как $v(x, y)$. Область значений функции v примем равной $[0, 1]$: $E(v) = [0, 1]$, значение 0 соответствует максимально заметной линии пореза, 1 – минимально заметной. Требуется определить вид и параметры функции $v(x, y)$.

Известные признаки оценки бесшовности

Нормативно-техническая документация содержит требования к проведению линий порезов: не пересекать высотные объекты, не проходить вдоль границ объектов разного тона, проходить по середине дорог, рек и т.п. или под прямым углом к ним [5], минимизировать резкие изменения яркости на участках, содержащих зону перехода между маршрутами/сценами [2]. Однако эти требования в основном могут служить руководством при ручной обработке, а алгоритмы автоматического расчета численных значений параметров, отражающих их выполнение, отсутствуют [6].

К часто используемым признакам, которые можно автоматически рассчитать и использовать для оценки визуальной незаметности линий стыка, относятся средний модуль

разности яркости пикселей фрагментов [7], коэффициент корреляции [7], морфологический градиент [3].

Разработка модели автоматической оценки визуальной заметности линий порезов

В качестве исходных данных для автоматического определения степени заметности линий порезов, используем выборку из Q пар фрагментов. Каждая пара фрагментов представляет собой участки изображений B_1 и B_2 размером $S \times S$ пикселей, $S = 32$ с левым верхним углом в точке (x_q, y_q) , $q = 1, \dots, Q$. Для формирования выборки использовались 150 геометрически совмещенных пар разновременных снимков Земли высокого разрешения из открытых источников. Чтобы не вводить дополнительную индексацию, будем считать, что все фрагменты были выбраны на одной паре изображений B_1 и B_2 . Оператор самостоятельно выбирал (x_q, y_q) , при этом на экране формировалась мозаика таким образом, что строки $\bar{y}_q = y_q + \frac{S}{2} - 1$ и выше брались из B_1 , а остальные – из B_2 . Вокруг фрагмента отображалась рамка и оператор указывал оценку визуальной незаметности шва внутри нее a_q , $q = 1, \dots, Q$: 0 («сильно заметный шов»), 0,5 («средняя заметность шва») или 1 («незаметный шов»).

Для каждой пары фрагментов с номером $q = 1, \dots, Q$ рассчитаем следующие признаки.

1. Средние значения яркости фрагментов $m_{1,q}, m_{2,q}$:

$$m_{i,q} = \frac{1}{S^2} \sum_{x=x_q}^{x_q+S-1} \sum_{y=y_q}^{y_q+S-1} B_i(x, y), \quad i = 1, 2.$$

2. Среднеквадратические отклонения яркости $\sigma_{1,q}, \sigma_{2,q}$:

$$\sigma_{i,q} = \sqrt{\frac{1}{S^2} \sum_{x=x_q}^{x_q+S-1} \sum_{y=y_q}^{y_q+S-1} [B_i(x, y) - m_{i,q}]^2}, \quad i = 1, 2.$$

3. Коэффициент корреляции при нулевом сдвиге фрагментов k_q :

$$k_q = \frac{1}{\sigma_{1,q}\sigma_{2,q}} \left[\frac{1}{S^2} \sum_{x=x_q}^{x_q+S-1} \sum_{y=y_q}^{y_q+S-1} B_1(x, y)B_2(x, y) - m_{1,q}m_{2,q} \right].$$

4. Коэффициент корреляции при нулевом сдвиге фрагментов, рассчитанный для области, непосредственно примыкающей к стыку, \hat{k}_q :

$$\hat{k}_q = \frac{1}{\hat{\sigma}_{1,q}\hat{\sigma}_{2,q}} \left[\frac{1}{2S} \sum_{x=x_q}^{x_q+S-1} \sum_{y=\bar{y}_q}^{\bar{y}_q+1} B_1(x, y)B_2(x, y) - \hat{m}_{1,q}\hat{m}_{2,q} \right],$$

где $\hat{m}_{i,q} = \frac{1}{2S} \sum_{x=x_q}^{x_q+S-1} \sum_{y=\bar{y}_q}^{\bar{y}_q+1} B_i(x, y)$, $\hat{\sigma}_{i,q} = \sqrt{\frac{1}{2S} \sum_{x=x_q}^{x_q+S-1} \sum_{y=\bar{y}_q}^{\bar{y}_q+1} [B_i(x, y) - \hat{m}_{i,q}]^2}$, $i = 1, 2$.

5. Средний модуль разности яркости пикселей фрагментов d_q :

$$d_q = \frac{1}{S^2} \sum_{x=x_q}^{x_q+S-1} \sum_{y=y_q}^{y_q+S-1} |B_1(x, y) - B_2(x, y)|.$$

6. Средний модуль разности яркости пикселей фрагментов непосредственно вблизи линии стыка \hat{d}_q :

$$\hat{d}_q = \frac{1}{2S} \sum_{x=x_q}^{x_q+S-1} \sum_{y=\bar{y}_q}^{\bar{y}_q+1} |B_1(x, y) - B_2(x, y)|.$$

6. Среднеквадратическое отклонение яркостей фрагментов σ_q :

$$\sigma_q = \sqrt{\frac{1}{S^2} \sum_{x=x_q}^{x_q+S-1} \sum_{y=y_q}^{y_q+S-1} [B_1(x, y) - B_2(x, y)]^2}.$$

7. Морфологический градиент g_q в центре фрагмента (\bar{x}_q, \bar{y}_q) , $\bar{x}_q = x_q + \frac{S}{2} - 1$:

$$g_q = \min[\delta(1, \bar{x}_q, \bar{y}_q) - \varepsilon(1, \bar{x}_q, \bar{y}_q), \delta(2, \bar{x}_q, \bar{y}_q) - \varepsilon(2, \bar{x}_q, \bar{y}_q)],$$

где эрозия $\varepsilon(i, x, y) = \min_{\substack{j=-1, 0, 1 \\ k=-1, 0, 1}} [B_i(x + j, y + k)]$, дилатация $\delta(i, x, y) = \max_{\substack{j=-1, 0, 1 \\ k=-1, 0, 1}} [B_i(x + j, y + k)]$.

8. Среднее значение морфологического градиента по линии стыка \hat{g}_q :

$$\hat{g}_q = \frac{1}{S} \sum_{x=x_q}^{x_q+S-1} \min[\delta(1, x, \bar{y}_q) - \varepsilon(1, x, \bar{y}_q), \delta(2, x, \bar{y}_q) - \varepsilon(2, x, \bar{y}_q)].$$

10. Сдвиг r_q фрагмента B_1 относительно B_2 , при котором достигается максимум коэффициента корреляции $k_{\max q}$, и само значение $k_{\max q}$. Поиск максимума коэффициента корреляции производится при смещениях фрагментов $-5, \dots, 5$ пикселей по каждой оси.

11. Максимум коэффициента корреляции, рассчитанный по области, примыкающей к стыку $\hat{k}_{\max q}$. Поиск максимума коэффициента корреляции производится при смещениях фрагментов $-5, \dots, 5$ пикселей по каждой оси.

12. Среднеквадратическое отклонение величины контурных компонент, рассчитанных с помощью оператора Собела c_q :

$$c_q = \sqrt{\frac{1}{S^2} \sum_{x=x_q}^{x_q+S-1} \sum_{y=y_q}^{y_q+S-1} [G(1, x, y) - G(2, x, y)]^2}, \quad i = 1, 2,$$

где оператор Собела

$$G(i, x, y) = \sqrt{G_x^2(i, x, y) + G_y^2(i, x, y)},$$

$$G_x(i, x, y) = B_i(x+1, y-1) + 2B_i(x+1, y) + B_i(x+1, y+1) - B_i(x-1, y-1) - 2B_i(x-1, y) - B_i(x-1, y+1),$$

$$G_y(i, x, y) = B_i(x-1, y+1) + 2B_i(x, y+1) + B_i(x+1, y+1) - B_i(x-1, y-1) - 2B_i(x, y-1) - B_i(x+1, y-1).$$

Сформируем двухслойную нейронную сеть прямого распространения, входами которой будут являться перечисленные признаки, а выходом – оценка бесшовности. Выход нейросети таким образом и будет искомой функцией $v(x, y)$. Используем скрытый слой из нескольких нейронов с гиперболическим тангенсом в качестве функции активации [8] и выходной слой с одним нейроном без функции активации. Обучив нейросеть, исследуем признаки с точки зрения пригодности для оценки бесшовности.

Экспериментальные исследования

Объем созданной авторами выборки для экспериментальных исследований составляет 10 тысяч элементов. Выборка случайным образом перемешивалась и разбивалась на обучающую и контрольную части в отношении 70 : 30. Обучение во всех экспериментах продолжалось 500 эпох с подбором параметров по алгоритму Адама с шагом обучения 0,0005. Множество номеров фрагментов из контрольной выборки обозначим \mathbf{T} , $\mathbf{T} \subseteq \{1, \dots, Q\}$. По контрольной выборке после обучения рассчитывались значения $v(x_t, y_t)$ и переводились в оценки \hat{a}_t , $t \in \mathbf{T}$:

$$\hat{a}_t = \begin{cases} 0, & \text{если } v(x_t, y_t) < 0,25, \\ 0,5, & \text{если } 0,25 \leq v(x_t, y_t) < 0,75, \\ 1, & \text{если } v(x_t, y_t) \geq 0,75. \end{cases}$$

В качестве оценки точности $v(x, y)$ использовался процент совпадения \hat{a}_t с a_t . Было проведено по 5 экспериментов с количеством нейронов в первом слое 2, ..., 14. При большем числе нейронов начало наблюдаться рассогласование результатов обучающей и контрольной выборок. График точности $v(x, y)$ в зависимости от количества нейронов в первом слое (рис.1) показывает некоторый рост количества совпадений с 84,8 % до 86,9 % при увеличении количества нейронов.

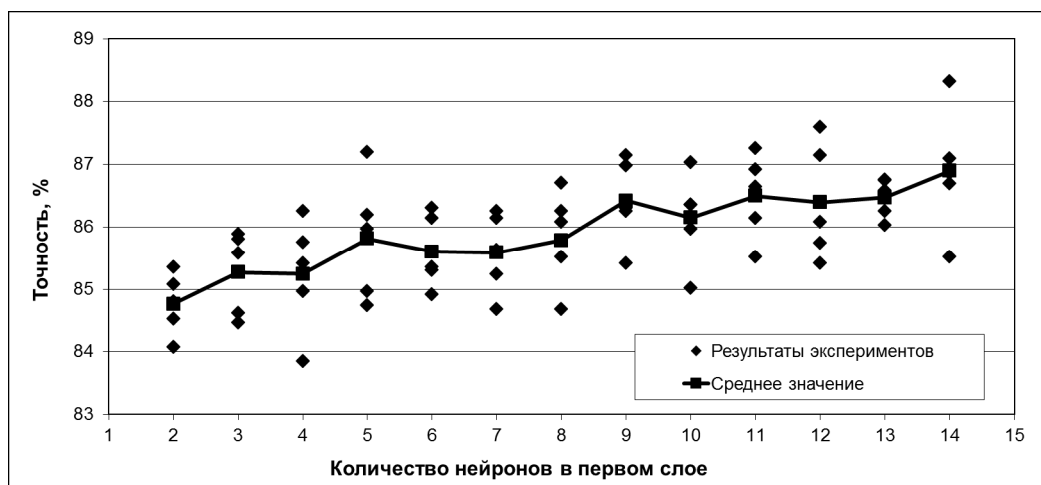


Рис. 1. График зависимости точности оценки бесшовности от количества нейронов

Для анализа признаков рассчитаны веса входов по формуле:

$$W_j = \left| \sum_{n=1}^N w_{j,n} w_n \right|,$$

где $w_{j,n}$ – вес связи между входом j и нейроном n первого слоя, w_n – вес связи между нейроном n первого слоя и выходным нейроном. Диаграммы весов входов для двух наиболее точных результатов приведены на рисунке (рис. 2). По двум наборам весов можно оценить степень разброса значений параметров, обусловленного различием структуры сети и корреляцией отдельных признаков. Как видно из диаграмм, наибольший вес имеют признаки \hat{d}_q , d_q , σ_q и c_q .

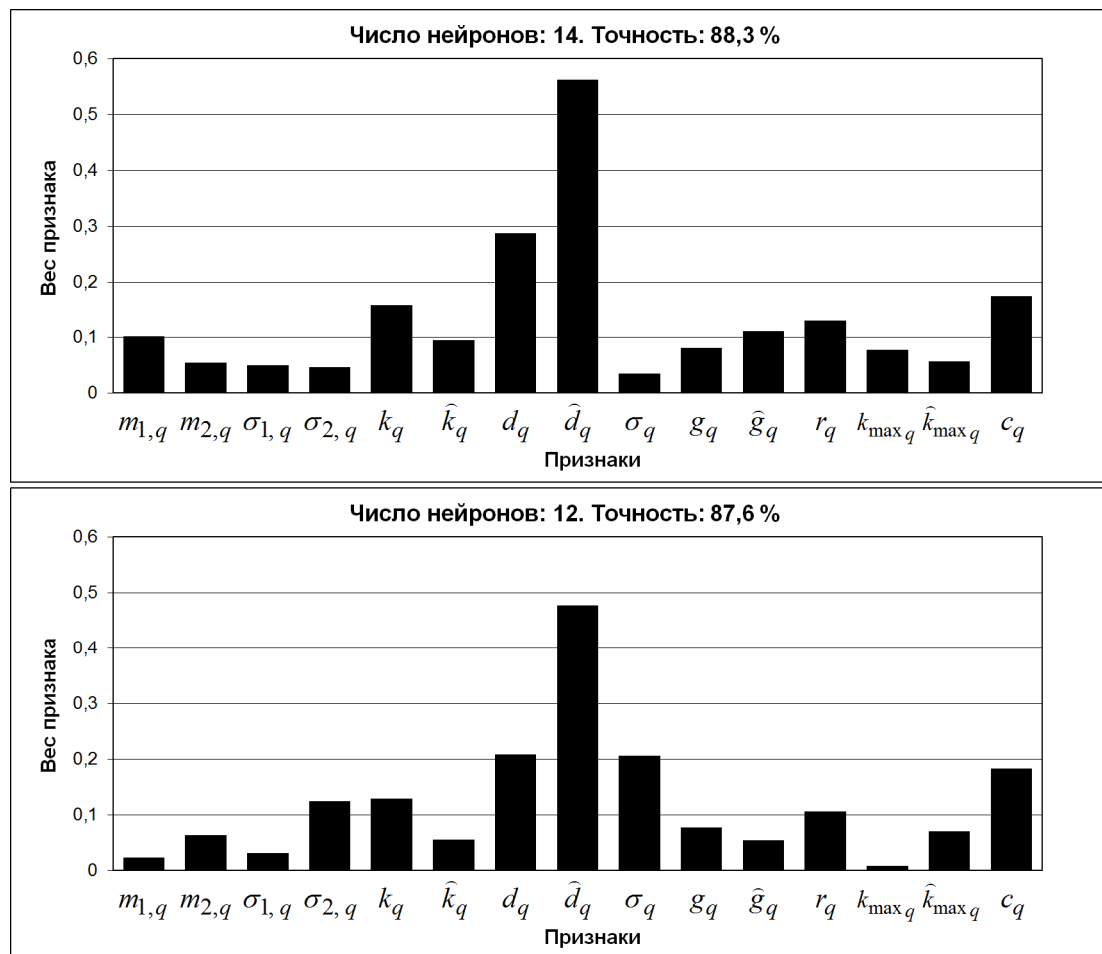


Рис. 2. Диаграммы весов признаков

Для проверки, насколько необходимым является вклад выделенных признаков в точность $v(x, y)$, получены оценки совпадений результатов модели с оценками оператора без использования \hat{d}_q , d_q , σ_q и c_q . При их исключении, средний процент совпадения снизился при различном количестве нейронов на величину от 3,4 до 6,9 единиц, что является существенным и позволяет сделать вывод о необходимости использования этих признаков. Однако при использовании только \hat{d}_q , d_q , σ_q и c_q снижение также значительное, от 3,3 до 4,7 единиц, что не позволяет говорить о достаточности перечисленных признаков.

Заключение

Оценка бесшовности мозаики по автоматически рассчитываемым признакам является актуальной задачей, решение которой позволит оценивать качество мозаик и автоматически формировать линии порезов.

Предложенная математическая модель в виде двухслойной нейросети позволила получить совпадение автоматически выполненных оценок бесшовности с оценками оператора 88,3 %.

Проведенное исследование показало, что наиболее полезны для оценки визуальной незаметности линий порезов признаки, характеризующие отличия совмещаемых изображений в области стыка. Наибольший вес среди входов обученной нейросети имеет средний модуль разности яркости пикселей в непосредственной окрестности (± 1 пиксель) линии шва. Однако использование только мер разности существенно снижает качество оценки бесшовности по сравнению с применением полного набора исследованных признаков. Определение минимального достаточного набора признаков требует дополнительных исследований.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 59079–2020. Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Типы данных дистанционного зондирования Земли из космоса. М., Стандартинформ, 2020.
2. ГОСТ Р 70663–2023. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Общие требования к созданию динамических и мозаичных покрытий. М., Российский институт стандартизации, 2023.
3. Soille, P. (2006). Morphological image compositing. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 28(5), 673–683.
4. Егин М. М. Разработка алгоритма определения линий стыковки фрагментов мозаичных изображений земной поверхности / М. М. Егин, А. Е. Кузнецов // Новые информационные технологии в научных исследованиях: Материалы XXIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязань, 13–15 ноября 2019 года. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, 2019. – С. 268-269. – EDN GUSBTZ.
5. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов [Текст] : ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. – М. : ЦНИИГАиК, 2002.
6. Егин, М. М. Разработка математического аппарата оценки качества линий пореза мозаичных изображений высокого разрешения / М. М. Егин, А. Е. Кузнецов // Новые информационные технологии в научных исследованиях: Материалы XXIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязань, 27–29 ноября 2024 года. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, 2024. – С. 129-130. – EDN RFUCZW.
7. M.-L. Duplaquet, «Building large image mosaics with invisible seam lines» in *Proc. Visual Information Processing and Communication*, 1998, pp. 369–377.
8. Постолиг А.В. Основы искусственного интеллекта в примерах на Python. Самоучитель. – СПб.: БХВ-Петербург, 2021. – 448 с.

УДК 528.8; ГРНТИ 89.57.35

КОРРЕЛЯЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЗАДАЧЕ УТОЧНЕНИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ В СИСТЕМАХ ГЛОБАЛЬНОГО НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ

С.А. Рябинин, А.В. Соловьев

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, servryabinin@hgmail.com

Аннотация. В работе рассматривается алгоритм уточнения географической привязки спутниковых изображений на основе корреляционного анализа локальных фрагментов. В качестве эталона используется опорное изображение, а корректируемый снимок разбивается на регулярную сетку фрагментов. Для каждого фрагмента выполняется поиск оптимального

смещения относительно эталона путём максимизации коэффициента корреляции Пирсона. В результате формируется матрица локальных смещений, позволяющая уточнить геопривязку изображения с точностью до одного пикселя. Экспериментальная часть демонстрирует применение разработанного алгоритма к системам глобального дистанционного зондирования Земли для повышения точности пространственной привязки спутниковых снимков. *Ключевые слова:* дистанционное зондирование Земли, геопривязка изображений, корреляционный анализ, коэффициент Пирсона, локальная регистрация, обработка спутниковых данных.

IMAGE CORRELATION IN THE TASK OF REFINING GEOGRAPHICAL COORDINATES IN GLOBAL EARTH OBSERVATION SYSTEMS

S.A. Ryabinin, A.V. Solovyov

RyazanStateRadioEngineeringUniversity named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, servryabinin@hgmail.com

The summary. This paper presents an algorithm for refining the georeferencing of satellite images based on correlation analysis of local fragments. A reference image is used as a ground truth, while the target image is divided into a regular grid of fragments. For each fragment, the optimal displacement relative to the reference is determined by maximizing the Pearson correlation coefficient. As a result, a matrix of local displacements is obtained, allowing georeferencing accuracy to be improved down to one pixel. The experimental results demonstrate the applicability of the proposed approach to remote sensing data and confirm its effectiveness in enhancing the spatial alignment of satellite imagery.

Keywords: remote sensing, image georeferencing, correlation analysis, Pearson correlation coefficient, local registration, satellite image processing.

Актуальность темы

Для многих прикладных задач, таких как мониторинг природных процессов, анализ изменений земной поверхности, картографирование и тематическая интерпретация данных, точность геопривязки является критически важной. В условиях, когда пространственное разрешение спутниковых снимков достигает одного километра на пиксель, смещение даже на один пиксель может приводить к существенным ошибкам при последующей обработке и анализе информации [1].

В связи с этим актуальной является задача постобработки спутниковых изображений с целью уточнения их пространственного положения относительно эталонных данных. В данной работе предлагается метод локального уточнения географической привязки, основанный на корреляции фрагментов корректируемого снимка с эталонным изображением, позволяющий сформировать поле смещений и компенсировать локальные геометрические искажения [2].

Теоретическая часть

Имеется два спутниковых снимка одного и того же участка Земли. Первый снимок (эталон) – это изображение от сторонней системы ДЗЗ, имеющее хорошую географическую привязку. Второй снимок (анализируемый) – это изображение, полученное гидрометеорологической системой, географическую привязку которого требуется уточнить. Оба изображения разбиваются на фрагменты, в пределах которых с помощью корреляционного анализа определяются их взаимные смещения вдоль строк и столбцов. Найденные поправки используются для уточнения географической привязки. Предполагается, что эталонное и анализируемое изображения имеют единое пространственное разрешение.

Пусть $I_{ref}(x, y)$ – эталонное изображение, $I_{sub}(x, y)$ – анализируемый снимок. Каждый фрагмент T_{ij} , определяется как:

$$T_{ij} = I(x_i, y_i, N, N), \quad (1)$$

где N – размер фрагмента, i и j – номер строки и столбца фрагмента соответственно, x_i, y_i – координаты его левого верхнего угла.

Не все полученные фрагменты пригодны для выполнения локального корреляционного анализа. Для проверки участка снимка на пригодность вычисляется абсолютная разность между соответствующими фрагментами на двух изображениях [3].

В качестве меры пригодности анализируется общее количество пикселей, яркостная разность которых превышает заданный порог:

$$N_{bad} = \sum M(x, y). \quad M(x, y) = \begin{cases} 1, & |T_{ref} - T_{sub}| > T_d \\ 0, & |T_{ref} - T_{sub}| \leq T_d \end{cases} \quad (2)$$

где T_{ref} – яркость пикселя эталонного изображения;

T_{sub} – яркость пикселя корректируемого снимка;

T_d – порог различия яркости.

Фрагмент считается пригодным для корреляции, если выполняется условие:

$$N_{bad} < \alpha \cdot N_{total}, \quad (3)$$

где N_{total} – общее число пикселей фрагмента;

α – допустимая доля несовпадающих пикселей.

Таким образом формируется маска фрагментов, участвующих в дальнейшем анализе.

Для каждого пригодного фрагмента выполняется поиск взаимного смещения путем максимизации коэффициента корреляции Пирсона [4]:

$$r = \frac{\sum_i (A_i - \bar{A})(B_i - \bar{B})}{\sqrt{\sum_i (A_i - \bar{A})^2 (B_i - \bar{B})^2}}, \quad (4)$$

где A_i – значения пикселей эталонного фрагмента;

B_i – значения пикселей смещённого фрагмента снимка;

\bar{A} и \bar{B} – средние значения яркости;

i – порядковый номер фрагмента.

Для каждого фрагмента выполняется перебор возможных смещений:

$$dx \in [-d, d], dy \in [-d, d], \quad (5)$$

Для каждого смещения определяется значение $r(dx, dy)$. Оптимальное смещение определяется как:

$$(\Delta x, \Delta y) = \arg \max_{dx, dy} r(dx, dy), \quad (6)$$

В результате каждому фрагменту сопоставляется величина и направление корректирующего сдвига. По результатам обработки формируется матрица:

$$M(i, j) = (\Delta x_{ij}, \Delta y_{ij}). \quad (7)$$

Для фрагментов, не прошедших предварительный отбор [5], принимается $(\Delta x, \Delta y) = (0, 0)$. Полученная матрица представляет собой дискретное поле поправок к географической привязке изображения.

Экспериментальная часть

В эксперименте использовались два изображения от КС «Арктика-М»: эталонное изображение и корректируемый снимок. Пространственное разрешение изображений составляет порядка одного километра на пиксель.

Оба изображения были разбиты на квадратные фрагменты размером 125×125 пикселей. На рисунке 1 показано разбиение изображений: слева - эталон, справа - анализируемый и корректируемый снимок с соответствующими фрагментами, где зелеными квадратами выделены фрагменты, пригодные для корреляции, красными квадратами выделены непригодные фрагменты.

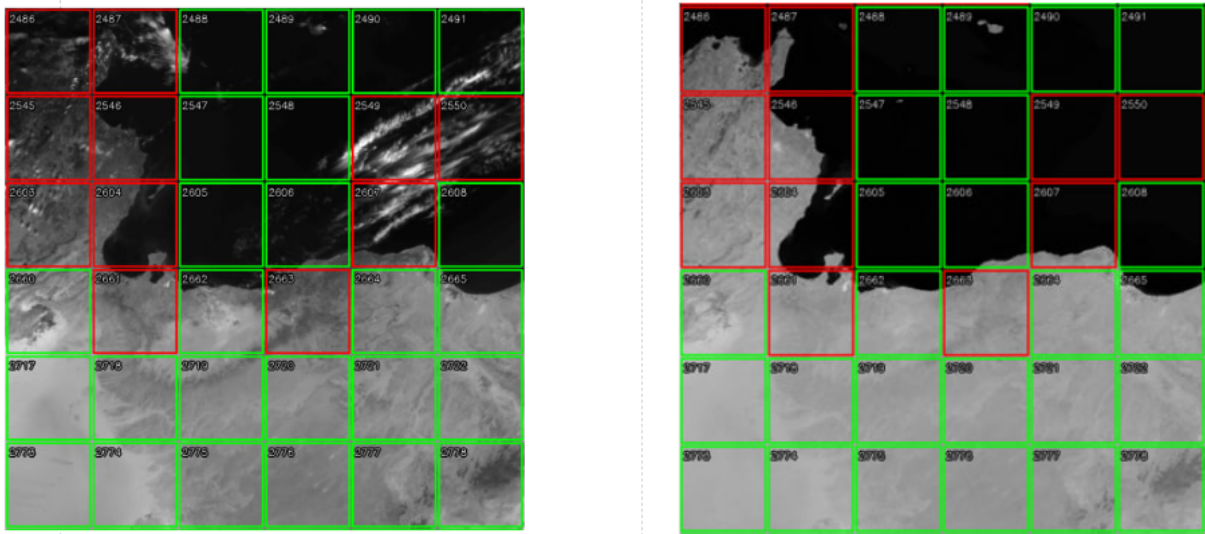


Рис. 1. Эталонный (слева) и анализируемый (справа) снимки, разделенные на фрагменты

Для каждого фрагмента вычислялась абсолютная разность яркости и выполнялась бинаризация, после чего определялось число несовпадающих пикселей $N_{bad} = \sum M(x, y)$. Фрагменты, удовлетворяющие условию $N_{bad} < 0.2 \cdot N_{total}$ отбирались для последующего корреляционного анализа. Поиск смещений проводился в диапазоне ± 20 пикселей по обеим координатам путем максимизации коэффициента корреляции Пирсона. Полученные значения $(\Delta x, \Delta y)$ использовались для геометрической трансформации корректируемого изображения, что в свою очередь обеспечивает повышение точности географической привязки обрабатываемого снимка. В таблице 1 приведены примеры вычисленных значений смещений по оси OX и OY, а также коэффициенты корреляции шести фрагментов.

Таблица 1 – Примеры вычисленных значений

Номер фрагмента	Смещение		Коэффициент корреляции
	OX	OY	
2335	3	1	0.882004
2336	0	-2	0.887954
2337	5	6	0.975128
2338	4	3	0.961974
2339	6	-1	0.848965
2340	8	2	0.948146

Заключение

В работе представлено уточнение географической привязки спутниковых изображений глобального наблюдения Земли, основанное на корреляционном сопоставлении с эталонными растровыми данными с использованием коэффициента Пирсона. Изображения разбиваются на регулярную сетку фрагментов, для информативных фрагментов определяется локальное смещение путем поиска максимума коэффициента корреляции, что позволяет сформировать поле векторов поправок геопривязки.

Экспериментальные результаты показали возможность определения смещений с точностью до одного пикселя, что при километровом пространственном разрешении обеспечивает существенное повышение качества геопозиционирования данных. Предложенный подход отличается простотой реализации и может применяться, например, в задачах мониторинга и анализа изменений земной поверхности.

Библиографический список

1. Гонсалес Р.С., Вудс Р.Э. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. – 792 с.
3. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. – М.: Бином, 2015. – 752 с.
4. Schowengerdt R.A. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. – Academic Press, 2007. – 560 p.
5. Zitová B., Flusser J. Image registration methods: a survey // Image and Vision Computing. – 2003. – Vol. 21. – P. 977–1000.

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.15

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТРИК РАССТОЯНИЯ ПРИ СЕГМЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ АЛГОРИТМОМ К-СРЕДНИХ

В.А. Ушенкин, К.Г. Федотов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, kirill.fedotovv@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматривается задача сегментации спутниковых RGB-изображений: анализируется качество ее решения алгоритмом К-средних с различными метриками расстояния. Реализована программа на языке C++, выполняющая кластеризацию снимков с использованием евклидова расстояния и разницы единицы и косинусного сходства. Сравнительный анализ проведен по общей точности сегментации объектов на пяти изображениях с различными типами поверхности Земли: водная поверхность, лесной массив, пустыня, городская застройка и смешанный ландшафт. Результаты показывают, что выбор метрики влияет на точность сегментации, и позволяют выявить особенности поведения алгоритма при разных характеристиках земной поверхности.

Ключевые слова: алгоритм К-средних, сегментация изображений, кластеризация, космические изображения.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DISTANCE METRICS FOR SATELLITE IMAGE SEGMENTATION USING THE K-MEANS ALGORITHM

V.A. Ushenkin, K.G. Fedotov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, kirill.fedotovv@gmail.com*

Abstract. This paper addresses the task of satellite RGB images segmentation using the K-means algorithm with different distance metrics and analyzes the quality of its solution. A program that performs clustering of images using Euclidean distance and one minus cosine similarity has been implemented in C++. We perform a comparative analysis of object segmentation accuracy in five images with different types of land cover: water surfaces, forested areas, deserts, urban develop-

ment, and mixed landscapes. The results show that the choice of metric affects segmentation accuracy and allow identifying the algorithm's behavior under different land surface characteristics.
 Keywords: K-means algorithm, image segmentation, clustering, satellite images, distance metrics.

В последние годы методы обработки изображений активно развиваются, особенно в направлении автоматического выделения и классификации объектов. Одним из эффективных инструментов решения таких задач является алгоритм К-средних [1].

Алгоритм К-средних предназначен для разбиения выборки на заданное число непересекающихся кластеров таким образом, чтобы объекты внутри каждого кластера были максимально компактны относительно его центра. Процесс кластеризации носит итеративный характер и включает ряд последовательных этапов.

Этап 1. Инициализация центров – выбор k центров соответствующих кластеров.

Этап 2. Назначение пикселей – для каждого объекта вычисляется расстояние до всех центров кластеров в соответствии с выбранной метрикой. Объект относится к тому кластеру, центр которого находится на минимальном расстоянии.

Этап 3. Пересчет позиций – вычисление новых центров как средних точек кластеров.

Этап 4. Проверка сходимости – если на этапе 2 значительное число пикселей отнесено к новому центру и не превышен лимит по количеству итераций, перейти к этапу 2; иначе завершить работу алгоритма.

Схема работы алгоритма К-средних представлена на рисунке 1.

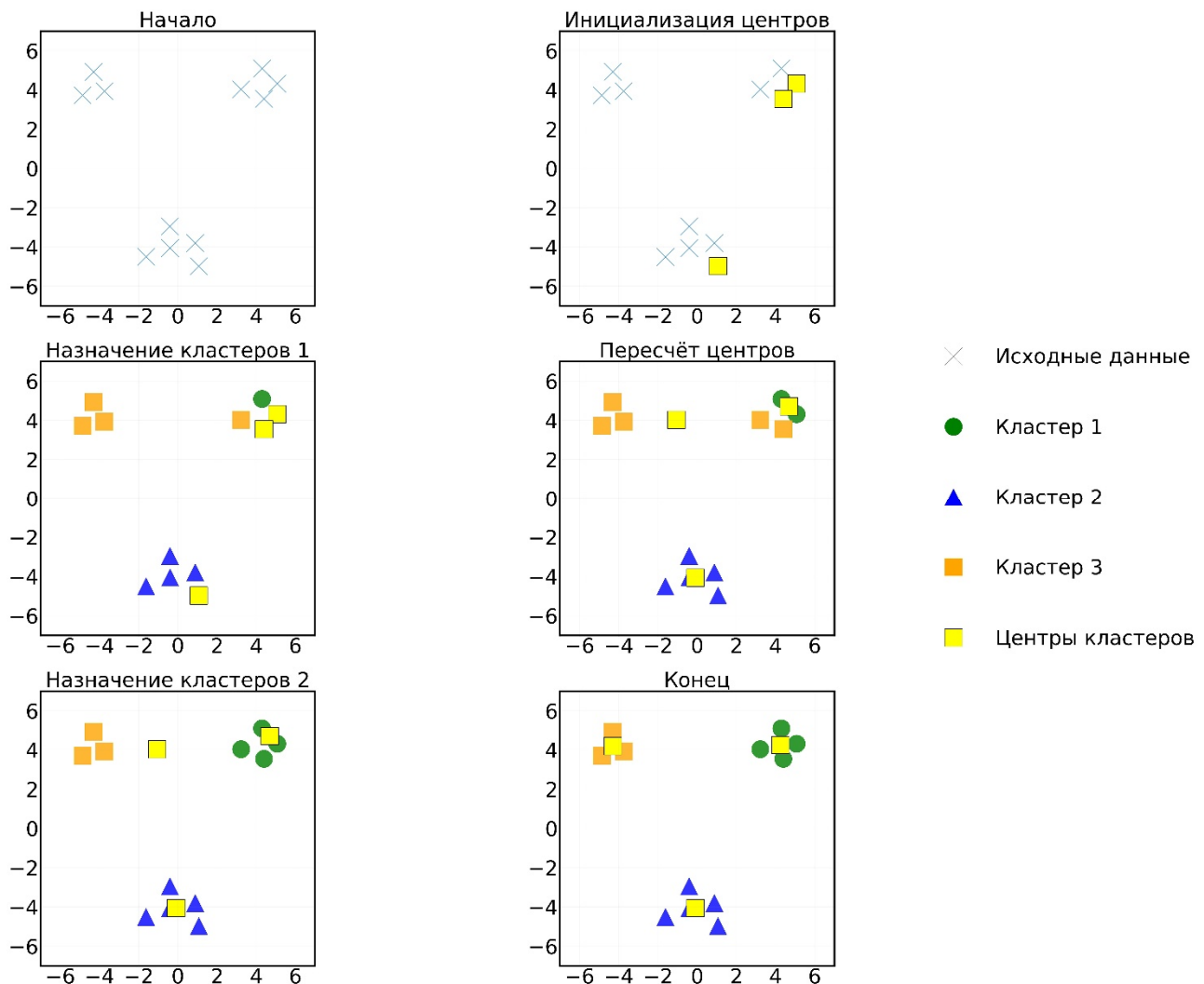


Рис. 1. Схема работы алгоритма К-средних

В работе алгоритм К-средних реализован с использованием двух метрик расстояния: евклидово расстояние и разность единицы и косинусного сходства. Это позволяет выявить влияние выбора метрики на качество сегментации изображений и устойчивость алгоритма к изменениям яркости и цвета объектов.

Евклидово расстояние определяется длиной отрезка, соединяющего концы двух векторов, направленных из начала координат и соответствующих сопоставляемых пикселям, то есть данная метрика показывает абсолютную разность значений RGB и учитывает и яркость, и цвет пикселя:

$$d_E(p, q) = \sqrt{(r_p - r_q)^2 + (g_p - g_q)^2 + (b_p - b_q)^2}, \quad (1)$$

где d_E – евклидово расстояние;

p, q – два пикселя, представленные в виде трехмерных векторов $p = (r_p, g_p, b_p)^T$, $q = (r_q, g_q, b_q)^T$;

r_p, g_p, b_p – красная, зеленая, синяя составляющая пикселя p ;

r_q, g_q, b_q – красная, зеленая, синяя составляющие значения пикселя q .

Евклидово расстояние обладает следующим достоинством: может различать объекты близких цветов, но с разным коэффициентом отражения. Однако оно имеет и недостаток: может ложно разделить однотипные объекты, по-разному освещенные.

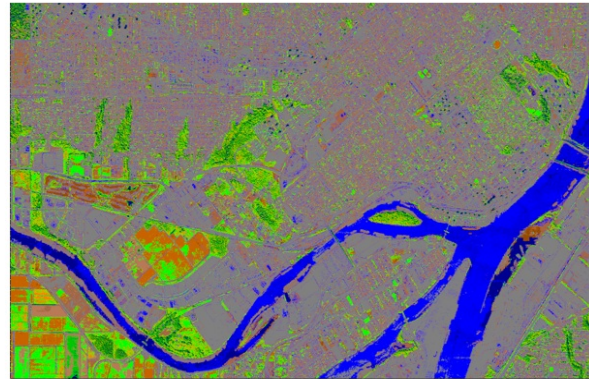
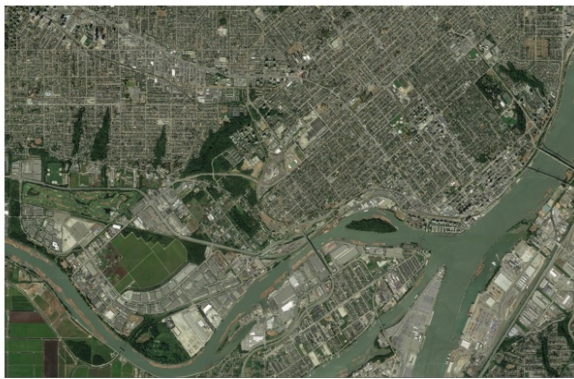
Косинусное сходство равняется косинусу угла между векторами. В работе используется разность единицы и косинусного сходства. Данная метрика учитывает только цвет, игнорируя различия в яркости:

$$d_c(p, q) = 1 - \frac{r_p r_q + g_p g_q + b_p b_q}{\sqrt{(r_p^2 + g_p^2 + b_p^2)} \sqrt{(r_q^2 + g_q^2 + b_q^2)}}, \quad (2)$$

где d_c – разность единицы и косинусного сходства.

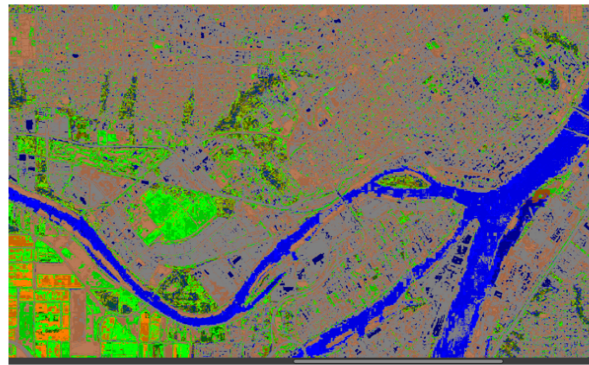
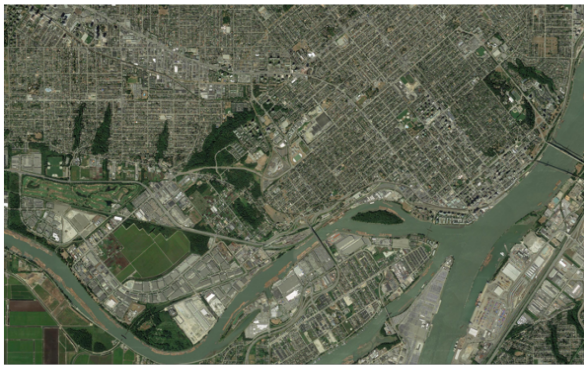
Разность единицы и косинусного сходства обладает следующим преимуществом: однотипные объекты относятся к одному кластеру вне зависимости от освещенности. Также данная метрика имеет и недостаток: разнотипные объекты близких цветов, но с разным коэффициентом отражения, могут быть неразличимы.

На основе описанного выше алгоритма и выражений (1) и (2) разработана программа сегментации изображения на языке программирования C++. Исходными данными программы являются: изображение и выбранная метрика расстояния. Примеры результатов работы программы представлены на рисунках 2 и 3.



● ● - вода; ● ● ● - растительность;
 ● ● ● - асфальт и крыши зданий; ● ● ● - почва

Рис. 2. Пример выделения объектов на изображении с использованием евклидова расстояния



● ● - вода; ● ● ● - растительность;
 ● ● ● - асфальт и крыши зданий; ● ● ● - почва

Рис. 3. Пример выделения объектов на изображении с использованием разности единицы и косинусного сходства

Для оценки качества полученных результатов кластеризации используется общая точность – доля пикселей, чьи предсказанные метки совпали с эталонными [2]:

$$Acc = \frac{p_{eq}}{p_{total}}, \quad (3)$$

где Acc – общая точность;

p_{eq} – количество пикселей, у которых предсказанный класс совпал с эталонным;

p_{total} – общее количество пикселей.

Для сопоставления влияния метрик расстояния на качество сегментации были выбраны 5 изображений с разными типами земной поверхности: лесной массив, пустыня, городская застройка, водная поверхность и смешанный ландшафт. Каждое изображение было сегментировано с помощью алгоритма К-средних с использованием двух метрик расстояния. Для всех снимков была подготовлена эталонная разметка, которая использовалась для вычисления общей точности на основе выражения (3). На рисунках 4–8 представлены все 5 изображений вместе с эталонной разметкой и результатами сегментации для обеих метрик.

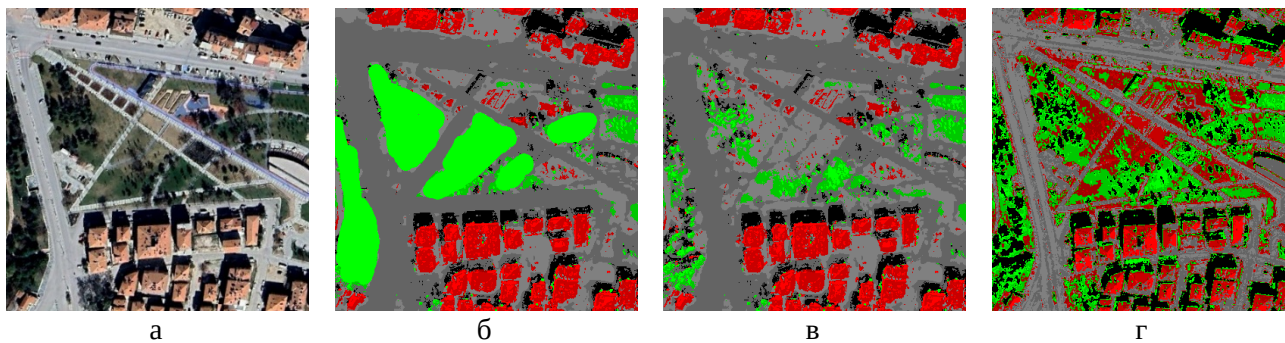


Рис. 4. Изображение городской застройки и результаты сегментации: а) оригинал; б) эталон; в) разность единицы и косинусного сходства; г) евклидовое расстояние

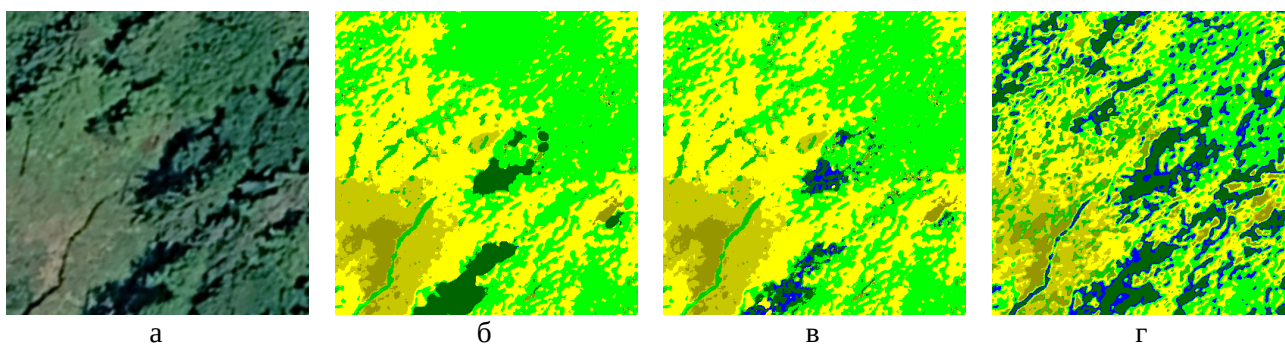


Рис. 5. Изображение лесного массива и результаты сегментации: а) оригинал; б) эталон; в) разность единицы и косинусного сходства; г) евклидовое расстояние

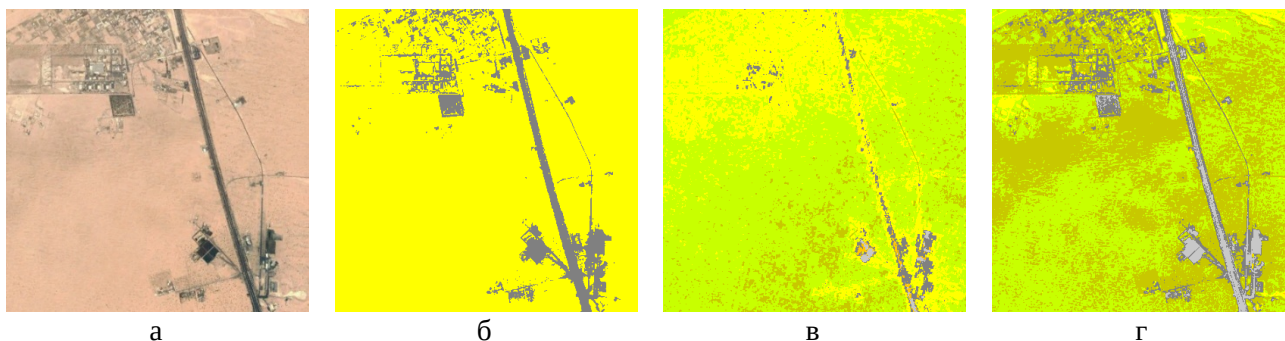


Рис. 6. Изображение пустыни и результаты его сегментации: а) оригинал; б) эталон; в) разность единицы и косинусного сходства; г) евклидовое расстояние

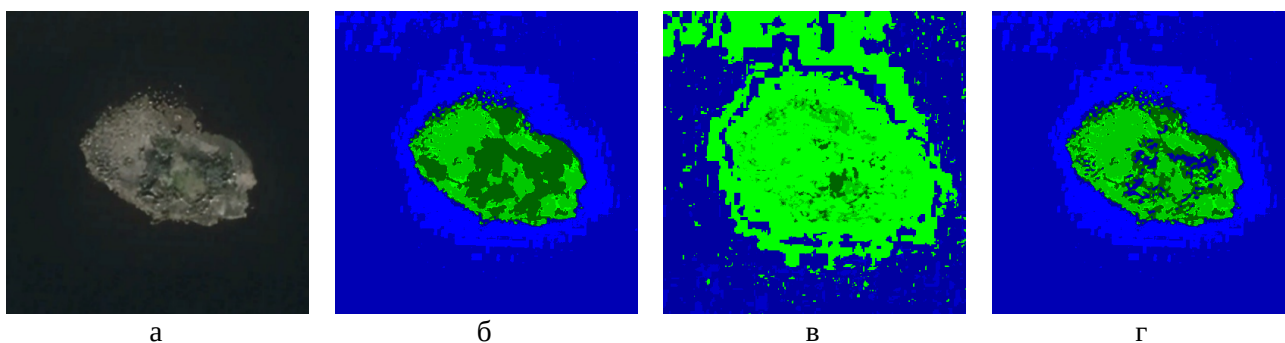


Рис. 7. Изображение водной поверхности и результаты сегментации: а) оригинал; б) эталон; в) разность единицы и косинусного сходства; г) евклидовое расстояние.

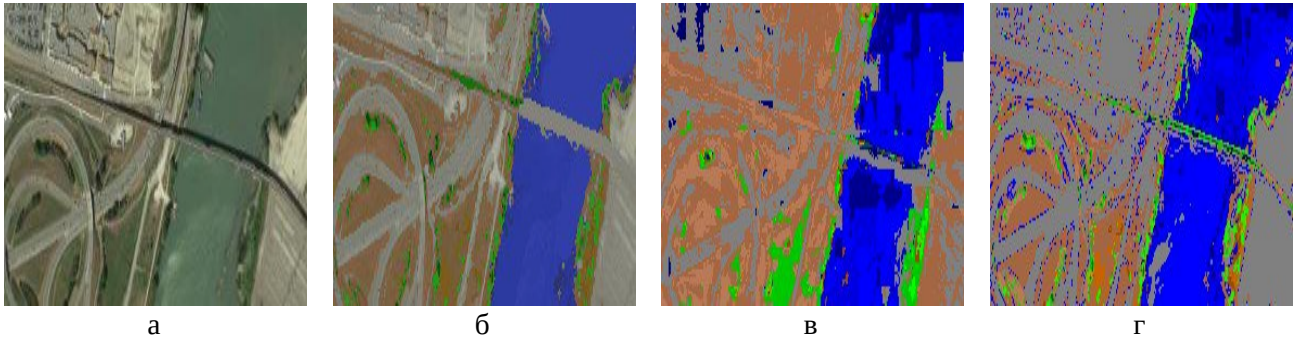


Рис. 8. Изображение смешанного ландшафта и результаты сегментации: а) оригинал; б) эталон; в) разность единицы и косинусного сходства; г) евклидовое расстояние.

Результаты оценки точности для всех 5 изображений представлены в таблице 1, где также указано среднее значение точности для каждой метрики.

Таблица 1. Результаты оценки общей точности сегментации изображений поверхности Земли для различных метрик расстояния.

Изображение	Тип поверхности	Евклидово расстояние	Разность единицы и косинусного сходства
1	Водная поверхность	0,98	0,69
2	Лесной массив	0,7	0,94
3	Пустыня	0,97	0,91
4	Городская застройка	0,61	0,87
5	Смешанный ландшафт	0,81	0,62
Среднее		0,81	0,8

Проведённый анализ показал, что средние значения общей точности для евклидовой метрики и разности единицы и косинусного сходства практически совпадают (0,81 и 0,80 соответственно). Однако выбор метрики существенно влияет на качество сегментации в зависимости от типа поверхности.

Евклидово расстояние демонстрирует лучшие показатели точности при сегментации однородных поверхностей с выраженными различиями яркости (водная поверхность, пустыня), тогда как косинусная метрика показывает лучшие результаты при наличии неоднородной освещённости и теневых областей (лесной массив, городская застройка).

Таким образом, выбор метрики расстояния должен осуществляться с учётом характеристик анализируемого изображения и условий освещения.

Библиографический список

1. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. – М.: Мир, 1978. – С.109–112.
2. Coates A., Ng A.Y. Learning Feature Representations with K-means // Neural Networks: Tricks of the Trade. 2nd ed. Lecture Notes in Computer Science / edited by G. Montavon, G.B. Orr, K.-R. Müller. - Vol. 7700. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2012. - Pp. 13.

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

КЛАССИФИКАЦИЯ АМПЛИТУДНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА

В.А. Овчинников

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, foton@rsreu.ru*

Аннотация. В работе рассматривается задача классификации амплитудных изображений, полученных космическими аппаратами радиолокационного наблюдения Земли без наличия полнополяриметрических данных. Предлагается осуществлять классификацию известными методами машинного обучения на основе данных о текстуре изображения. В ходе корреляционного анализа отобраны наиболее значимые текстурные признаки по Харалику. Продемонстрирована возможность классификации методом k-средних, методом опорных векторов и с помощью построения дерева решений. Приводятся примеры классификации рассмотренными методами.

Ключевые слова: классификация изображений, радиолокационное наблюдение Земли, текстурный анализ.

CLASSIFICATION OF SAR AMPLITUDE IMAGES USING TEXTURE ANALYSIS

V.A. Ovchinnikov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, foton@rsreu.ru*

The summary. The paper considers the problem of classifying synthetic aperture radar (SAR) amplitude images obtained from Earth observation satellites when full polarimetric data are not available. The classification is performed using standard machine learning methods based on image texture information. The most important Haralick texture features are selected using correlation analysis. The possibility of classification using the k-means method, support vector machines, and decision trees is shown. Examples of image classification using these methods are presented.

Keywords: image classification, SAR, remote sensing of Earth, texture analysis.

Необработанные изображения, полученные космическими системами радиолокационного наблюдения Земли, в отличие от оптических изображений, часто сложны для человеческого восприятия. При решении тематических задач нередко возникает потребность в классификации радиолокационных изображений (РЛИ). Наилучшее качество многоклассовой сегментации достигается при наличии полнополяриметрических данных (всех четырёх возможных комбинаций поляризаций зондирующего сигнала на излучение и приём). Широко известны поляриметрические декомпозиции Паули [1], Крогарера [2] и др., позволяющие разделить суммарный радиолокационный сигнал на отдельные составляющие, соответствующие различным типам отражающих поверхностей. На основе перечисленных декомпозиций впоследствии производят поляриметрические классификации объектов, такие как классификация Клода-Потье [3], классификация Фримана-Дурдена-Уишарта [4] и др.

Однако получение полнополяриметрических данных не всегда представляется возможным. Во-первых, не все радиолокационные космические аппараты поддерживают режимы съёмки в четырёх поляризациях, а во-вторых, такая съёмка ведёт к двукратному снижению пространственного разрешения в азимутальном направлении из-за необходимости чередовать поляризацию излучаемых зондирующих импульсов.

В связи с вышеперечисленным остаётся актуальной задача классификации амплитудных РЛИ, которые могут быть сформированы любыми космическими аппаратами радиолокационного наблюдения без потери пространственного разрешения.

Выбор пространства текстурных признаков

Чтобы извлечь информацию о характеристиках рассеяния сигнала в каждом пикселе изображения, можно использовать текстурные признаки Харалика [5]. Для этого формируются матрицы смежности уровней яркости в соседних пикселях по различным угловым направлениям (0° , 45° , 90° , 135°). В работе были проанализированы следующие 13 признаков Харалика на предмет взаимной корреляции по Пирсону:

1) второй угловой момент:

$$\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} g_{ij}^2, \quad (1)$$

2) квадратный корень из контраста:

$$\sqrt{\sum_{n=0}^{N_g-1} \sum_{|i-j|=n} g_{ij}}, \quad (2)$$

3) квадратный корень из дисперсии:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_g} (i - \mu)^2 \sum_{j=1}^{N_g} g_{ij}}, \quad (3)$$

где μ – среднее значение g_{ij} ;

4) корреляция:

$$\frac{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} ijg_{ij} - \mu^2}{\sigma^2}, \quad (4)$$

5) обратный дифференциальный момент:

$$\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} \frac{g_{ij}}{1 + (i - j)^2}, \quad (5)$$

6) средняя сумма:

$$\sum_{n=2}^{2N_g} n \sum_{i+j=n} g_{ij}, \quad (6)$$

7) квадратный корень из дисперсии сумм:

$$\sqrt{\left(\sum_{n=2}^{2N_g} n^2 \sum_{i+j=n} g_{ij} \right) - \left(\sum_{n=2}^{2N_g} n \sum_{i+j=n} g_{ij} \right)^2}, \quad (7)$$

8) энтропия сумм:

$$-\sum_{n=2}^{2N_g} \log \left(\sum_{i+j=n} g_{ij} \right) \sum_{i+j=n} g_{ij}, \quad (8)$$

9) энтропия:

$$\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} g_{ij} \log(g_{ij}), \quad (9)$$

10) квадратный корень из дисперсии разностей:

$$\sqrt{\left(\sum_{n=0}^{N_g-1} n^2 \sum_{|i-j|=n} g_{ij} \right) - \left(\sum_{n=0}^{N_g-1} n \sum_{|i-j|=n} g_{ij} \right)^2}, \quad (10)$$

11) энтропия разностей:

$$- \sum_{n=0}^{N_g-1} \log \left(\sum_{|i-j|=n} g_{ij} \right) \sum_{|i-j|=n} g_{ij}, \quad (11)$$

12) кубический корень из оттенка кластера:

$$\sqrt[3]{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} (i+j-2\mu)^3 g_{ij}}, \quad (12)$$

13) корень 4-й степени из выпуклости кластера:

$$\sqrt[4]{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} (i+j-2\mu)^4 g_{ij}}. \quad (13)$$

В формулах (1–13) g_{ij} – элементы матрицы смежности $\mathbf{G}_{(N_g \times N_g)}$ по Харалику, N_g – количество уровней серого. Абсолютные значения коэффициентов корреляции по Пирсону (корреляционная матрица) приведены в таблице 1.

Таблица 1. Корреляция между текстурными признаками

Признак	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	0,8145	0,3811	0,3546	0,8624	0,5713	0,3708	0,8834	0,8710	0,3469	0,7998	0,2647	0,3029
2	0,8145	1	0,7890	0,3886	0,9560	0,8903	0,7783	0,9361	0,9423	0,7585	0,9737	0,6923	0,7191
3	0,3811	0,7890	1	0,3844	0,6234	0,8687	0,9990	0,6357	0,6306	0,9892	0,7242	0,9711	0,9821
4	0,3546	0,3886	0,3844	1	0,3154	0,3276	0,4092	0,5684	0,5074	0,3190	0,4870	0,4273	0,3871
5	0,8624	0,9560	0,6234	0,3154	1	0,8312	0,6108	0,9469	0,9695	0,5799	0,9529	0,5102	0,5405
6	0,5713	0,8903	0,8687	0,3276	0,8312	1	0,8613	0,8013	0,8197	0,8272	0,8524	0,7597	0,7898
7	0,3708	0,7783	0,9990	0,4092	0,6108	0,8613	1	0,6321	0,6247	0,9841	0,7175	0,9741	0,9828
8	0,8834	0,9361	0,6357	0,5684	0,9469	0,8013	0,6321	1	0,9940	0,5821	0,9647	0,5442	0,5614
9	0,8710	0,9423	0,6306	0,5074	0,9695	0,8197	0,6247	0,9940	1	0,5781	0,9701	0,5338	0,5530
10	0,3469	0,7585	0,9892	0,3190	0,5799	0,8272	0,9841	0,5821	0,5781	1	0,6813	0,9692	0,9838
11	0,7998	0,9737	0,7242	0,4870	0,9529	0,8524	0,7175	0,9647	0,9701	0,6813	1	0,6408	0,6549
12	0,2647	0,6923	0,9711	0,4273	0,5102	0,7597	0,9741	0,5442	0,5338	0,9692	0,6408	1	0,9899
13	0,3029	0,7191	0,9821	0,3871	0,5405	0,7898	0,9828	0,5614	0,5530	0,9838	0,6549	0,9899	1

В таблице 1 выделены значения сильно коррелирующих признаков. По результатам корреляционного анализа были отобраны 8 наиболее значимых текстурных признаков с номерами 1–5, 6, 9 и 11.

Классификация методами машинного обучения

Из каждой доступной поляризации исходного РЛИ предлагается извлечь выбранные 8 текстурных признаков, получив промежуточный информационный продукт текстурного анализа. Каждый пиксель такого продукта представляет собой вектор, содержащий от 8 до 32 измерений (в зависимости от числа имеющихся поляризационных каналов). Полученные данные предлагается обработать классическими методами машинного обучения, такими как классификация методом k-средних, метод опорных векторов и построение деревьев реше-

ний. На рисунке 1 показаны примеры исходного, промежуточного и результирующего информационных продуктов.

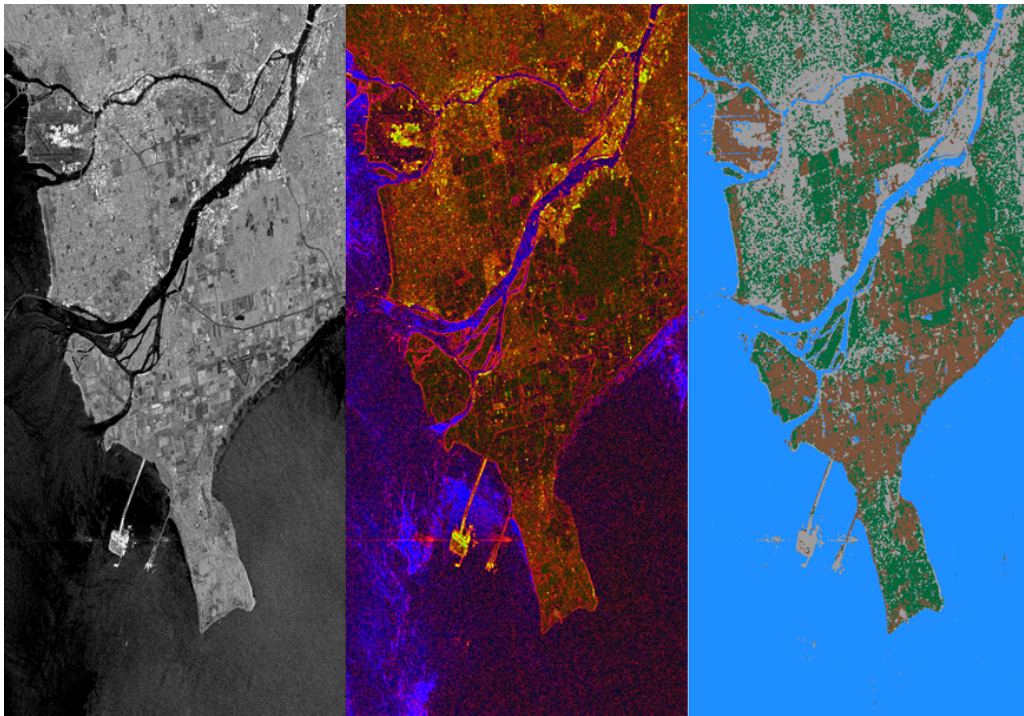


Рис. 1. Примеры информационных продуктов при амплитудной классификации РЛИ

В левой части рисунка 1 представлено исходное РЛИ в поляризации VV. Средняя часть рисунка – информационный продукт множественного текстурного анализа в псевдоцветах (красный канал изображения – корреляция по Харалику, зелёный канал – контраст по Харалику, синий канал – второй угловой момент по Харалику). В правой части рисунка итоговый результат классификации методом k-средних на 4 класса (водная поверхность, растительность, пашни и городская застройка).

Классификация методом k-средних заключается в итерационно осуществляемой минимизации суммарного квадратического расстояния от элементов классифицируемого пространства (пикселей) до центров соответствующих им классов:

$$\sum_{i=1}^l \rho^2(\mathbf{x}_i, \boldsymbol{\mu}_{y_i}) \rightarrow \min_{\boldsymbol{\mu}, y} \quad (14)$$

где $y_i = y(\mathbf{x}_i)$ – класс элемента \mathbf{x}_i , $\boldsymbol{\mu}_k = \frac{\sum_{i=1}^l [y_i = k] \cdot \mathbf{x}_i}{\sum_{i=1}^l [y_i = k]}$ – центр класса k , ρ – метрика расстояния.

Начальное приближение центров классов задаётся оператором.

В классификации методом деревьев решений определим X – множество объектов, Y – множество соответствующих им классов. На стадии обучения классификатора строится бинарное дерево решений. Каждое решение делит обучающую выборку на две подвыборки так, чтобы минимизировать взвешенную сумму энтропий по Шеннону в пределах каждой подвыборки:

$$H(Y) = -\sum_{k=1}^K p(k) \log_2 p(k), \quad (15)$$

где $p(k) = \frac{|\{y \in Y : y = k\}|}{|Y|}$ – частота класса k в Y . Деление осуществляется путём сопоставления значения в канале c с порогом t .

Построение дерева проводится рекурсивно. Осуществляется поиск канала c и порога t , деление выборки по которым приведёт к максимальному уменьшению энтропии в листьях дерева:

$$H(Y_{i-1}) - H(Y_i) \rightarrow \max_{c,t}, \quad (16)$$

где i – номер итерации построения дерева. Для сокращения объёма вычислений непрерывную оптимизацию по порогу t предлагается заменить дискретной с адаптивным выбором шага квантования непрерывной величины t .

Метод опорных векторов реализует бинарную классификацию по правилу:

$$a(\mathbf{x}) = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^l y_i \lambda_i K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}) + b \right), \quad (17)$$

где $K(\mathbf{u}, \mathbf{v})$ – функция ядра;

y_i – метка класса i -го элемента;

b – свободный член;

λ_i – значение переменной Лагранжа, полученное в ходе решения системы условий Каруша-Куна-Таккера [6]. При хорошей линейной разделимости подавляющее большинство коэффициентов λ_i оказываются нулевыми и не участвуют в итоговой сумме (17). Те векторы \mathbf{x}_i , для которых $\lambda_i \neq 0$, называют опорными.

Чтобы обобщить метод опорных векторов на случай более двух классов, используют различные стратегии. Например, в стратегии «все против всех» формируется C_k^2 классификаторов $a_{ij}(\mathbf{x})$, где K – число классов. Результирующий класс выбирается мажоритарным способом в ходе «голосования»:

$$a(\mathbf{x}) = \arg \max_k n(k), \quad (18)$$

где $n(k) = \sum_{i=1}^K \sum_{j \neq i} [a_{ij}(\mathbf{x}) = k]$.

В стратегии «один против всех» формируется K классификаторов, а выигрывает тот класс, который наиболее «уверен» в своём предсказании:

$$a(\mathbf{x}) = \arg \max_k a_k(\mathbf{x}). \quad (19)$$

На рисунке 2 приведён пример классификации методом опорных векторов на 4 класса: водная поверхность (голубой), растительность (зелёный), городская застройка (серый) и высотные здания и яркие уголкового отражатели (жёлтый). Классификаторы были обучены с параметром регуляризации $C = 3$, линейным ядром и с использованием стратегии «все против всех». Слева на рисунке 2 представлено исходное амплитудное РЛИ в поляризации НН, справа – результат классификации.

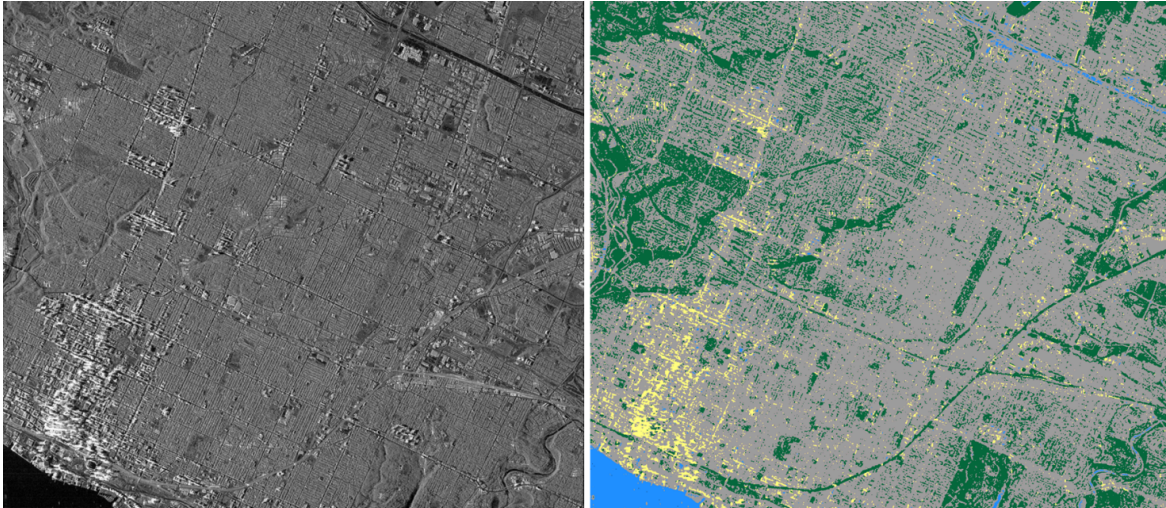


Рис. 2. Классификация методом опорных векторов

Таким образом, в ходе корреляционного анализа были отобраны 8 наиболее значимых текстурных признаков Харалика для классификации амплитудных РЛИ. Продемонстрированы результаты классификации радиолокационных изображений распространёнными методами машинного обучения при отсутствии полнополяриметрических данных.

Библиографический список

1. Lee J.S., Pottier E. Polarimetric Radar Imaging: from Basic to Applications. Boca Raton, London, New York: CRC Press, 2009. 398 p.
2. Krogager E. A new decomposition of the radar target scattering matrix // Electronics Letter. 1990. Vol. 26. No. 18. P. 1525–1526.
3. Pottier E., Lee J.S. Unsupervised classification scheme of PolSAR images based on the complex Wishart distribution and the «H/A/α» Polarimetric decomposition theorem // Proc. of EUSAR. 2000. P. 265–268.
4. Freeman A., Durden S.L. A three-component scattering model for polarimetric SAR data // IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing. 1998. Vol. 36. No. 3. P. 963–973.
5. Haralick, Robert M. Et al. Textural Features for Image Classification. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 3 (1973): 610-621.
6. Vapnik V. N. The Support Vector method // Lecture Notes in Computer Science. : Springer Berlin Heidelberg, 1997. С. p.p. 261-271.

УДК 004.413; 004.415.53

ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАГ-РЕПОРТОВ В ПРОЦЕССАХ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЗЗ

П.А. Князьков, И.А. Пантелеев

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, foton@rsreu.ru

Аннотация. В статье рассмотрены теоретические и практические вопросы оформления и использования баг-репортов как одного из основных элементов процесса обеспечения качества программного обеспечения (ПО) в условиях разработки и тестирования. Приведены уровни серьёзности и приоритетности дефектов, а также жизненный цикл баг-репорта в системах баг-трекинга. Проанализированы различные источники и представлена рекомендуемая структура баг-репорта с учётом специфики работы с данными ДЗЗ. Проведён сравнительный анализ функциональных возможностей систем баг-трекинга с точки зрения поддержки шаблонов отчётов об ошибках.

Ключевые слова: баг-репорт, тестирование программного обеспечения, дефект, баг-трекинг, воспроизводимость ошибок, системы трекинга задач, обеспечение качества программного обеспечения.

TECHNOLOGY FOR USING BUG REPORTS IN THE TESTING PROCESS OF REMOTE SENSING DATA SOFTWARE

P.A. Knyazkov, I.A. Panteleev

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, foton@rsreu.ru

The summary. This article examines the theoretical and practical aspects of the design and use of bug reports as a key element of the software quality assurance process during development and testing. Severity and priority levels of defects are presented, as well as the bug report lifecycle in bug tracking systems. Various sources are analyzed and a recommended bug report structure is presented, taking into account the specifics of working with remote sensing data. A comparative analysis of the functionality of bug tracking systems in terms of supporting error report templates was conducted.

Keywords: bug report, software testing, defect, bug tracking, bug reproducibility, task tracking systems, software quality assurance.

Современные программные системы обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) осуществляют чтение, преобразование и архивацию терабайтов растровых данных и метаданных съемки на распределенной инфраструктуре. Большой масштаб таких систем напрямую влияет на структуру команды и процессы управления качеством при разработке. Дополнительно, современные требования к разработке ПО характеризуется высокой скоростью разработки, широким распространением гибких методологий проектирования с сокращенными сроками циклов поставки новой функциональности.

В перечисленных условиях организация процессов тестирования и управления дефектами приобретают важное значение для обеспечения качества программных продуктов [1, 2]. Как отмечается в работах по обеспечению качества ПО, эффективность устранения дефектов во многом определяется не только техническими средствами тестирования, но и качеством коммуникации между участниками процесса разработки. Так при реализации декомпозированных крупных задач разными командами в сжатые сроки разработки явно проявляются признаки недостаточной организации тестирования ПО:

- работает на одной машине, проблема возникает на других;
- размытая ответственность за исправление дефекта;
- перед выпуском новой версии тратиться 2-3 дня на регрессионное тестирование;
- отсутствие единой документации тестирования.

Одним из центральных предметов процесса тестирования ПО является баг-репорт – формализованный отчет об обнаруженном дефекте. Качество этого отчёта напрямую влияет на скорость локализации проблемы, воспроизводимость ошибки и корректность её устранения разработчиками [3,4]. Неполные или некорректно оформленные отчёты приводят к увеличению времени исправления дефекта за счет затруднений его воспроизведения и увеличению количества возвратов задач на доработку и росту издержек, связанных с повторной обработкой одних и тех же дефектов.

Целью настоящей статьи является обзор и анализ технологии оформления и использования баг-репортов, а также обзор современных систем баг-трекинга с точки зрения поддержки шаблонов отчётов об ошибках.

Классификация дефектов

Термин «баг» (bug) широко используется в профессиональной среде для обозначения любого отклонения поведения программного продукта от ожидаемого. В строгой терминологии тестирования различают:

- ошибку (error) – неверное действие разработчика;
- дефект (defect) – изъян в программе или проектных решениях;
- сбой (failure) – проявление дефекта в процессе выполнения программы [5].

В рамках данной работы термин «баг» используется в обобщённом значении, охватывающем дефект и его проявление в работе программного продукта.

Баг-репорт представляет собой стандартизированный документ, содержащий описание дефекта, достаточное для его воспроизведения и последующего исправления разработчиком. Классификация багов осуществляется по различным признакам. По характеру проявления выделяют функциональные и нефункциональные дефекты.

К функциональным дефектам относят нарушение бизнес-логики и некорректную работу функций (например, невозможность сохранить данные, неверный расчёт).

Нефункциональные дефекты включают подкатегории:

- UI-баги (визуальные несоответствия макетам);
- UX-дефекты (логические неудобства использования);
- дефекты производительности (низкая скорость отклика/работы, утечки памяти);
- проблемы совместимости (переносимости);
- уязвимости безопасности [6].

Другими важнейшими атрибутами любого дефекта являются серьёзность и приоритет.

Серьёзность (Severity) – характеризует степень влияния дефекта на работоспособность программного продукта, которая устанавливается тестировщиком. Обычно подразделяется на уровни: тривиальный (Trivial), незначительный (Minor), серьёзный (Major), критический (Critical), блокирующий (Blocker).

Приоритет (Priority) – определяет очередность (срочность) исправления дефекта. Устанавливается менеджером проекта исходя из бизнес-целей. Обычно подразделяется: низкий (Low), средний (Medium), высокий (High) [6].

Разграничение данных показателей позволяет оптимизировать распределение ресурсов: критический баг на второстепенной функции может иметь средний приоритет, в то время как незначительный дефект ошибки в названии тегов метаданных выходной продукции может получить высокий приоритет.

Жизненный цикл баг-репорта

В современных системах баг-трекинга жизненный цикл дефекта, как правило, включает статусы: «Открыт», «В работе», «Исправлен», «Проверка», «Закрит». Управление данным циклом осуществляется в специализированных инструментах и является частью общего процесса обеспечения качества ПО [7]. В реальных проектах жизненный цикл дефекта обычно расширен дополнительными состояниями («Переоткрыт», «Отклонён», «Отложен») с петлями ретестов и повторными исправлениями, как показано на рисунке 1.

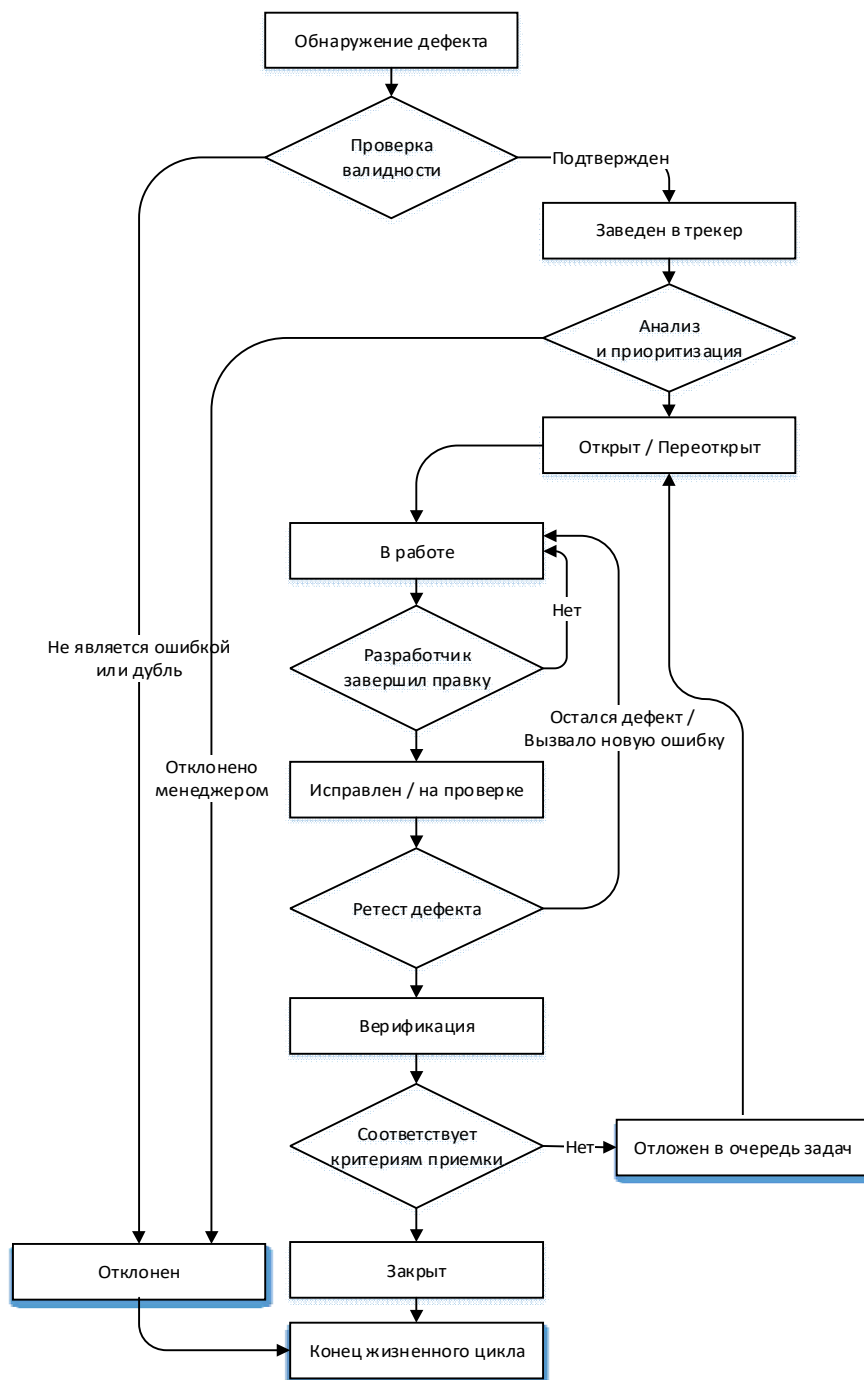


Рис. 1. Пример жизненного цикла дефекта в проекте

Структура баг-репорта

Анализ современной литературы показал, что наиболее эффективные баг-репорты имеют унифицированную структуру [3, 4, 6]. Качественный баг-репорт должен выполнить три основные функции:

1. Коммуникационная – точно передать информацию о проблеме от тестировщика к разработчику;
2. Воспроизводящая – содержать все необходимые шаги и условия (исходные данные, версию ПО, окружение, шаги воспроизведения/параметры обработки), чтобы разработчик мог самостоятельно увидеть сбой;

3. Приоритизирующая – помогает менеджеру проекта и команде оценить критичность проблемы для планирования работ.

Ниже приведена рекомендуемая структура баг-репорта для программного обеспечения с учетом специфики обработки данных ДЗЗ, актуальная для 2025–2026 годов.

Таблица 1. Рекомендуемая структура баг-репорта

Поле	Описание	Обязательность
Заголовок	Краткое информативное описание проблемы	Обязательно
Проект / Компонент	Название продукта или модуля, версия, SHA хеш в репозитории Git	Обязательно
Серьёзность	Установленное влияние на программу	Обязательно
Приоритет	Определенный приоритет дефекта	Обязательно
Исходные данные	Идентификатор маршрута съемки/сцены, ссылка на данные в хранилище (Serph, S3), сами исходные данные, если небольшого размера	Обязательно
Шаги воспроизведения	Список действий, приводящий к проявлению дефекта, параметры задания на обработку	Критически важно
Программное окружение	Версия операционной системы, версии библиотек (GDAL, PROJ, CUDA), версия Docker-образа при работе в контейнере	Обязательно
Технические средства	Процессор (модель, количество ядер, частота), оперативная память (объем, частота), видеокарта (модель, объем видеопамати), накопитель (тип, скорость чтения/записи), пропускная способность сети	Обязательно
Ожидаемый результат	Как должно работать по техническому заданию	Обязательно
Фактический результат	Как проявляется дефект	Обязательно
Вложения	Снимок экрана, видео, лог-файл	Рекомендуется
Статус	Текущее состояние	Обязательно
Исполнитель	Ответственный за исправление	Обязательно
Автор	Тестирующий, создавший отчет	Обязательно

Специфика ПО обработки данных ДЗЗ накладывает дополнительные требования к содержанию отчёта. Например, ошибка может проявляться только на определенном маршруте съемки или при попытке обработки исходных данных объемом больше 100 ГБ. Таким образом необходимо для воспроизводимости дефекта обязательно указывать исходные данные для обработки и параметры технических средств. Дополнительными улучшениями баг-репорта также может быть привязка дефекта к пользовательской истории (User story) или варианту тестирования (Test case) [8].

Сравнительный анализ систем баг-трекинга

Практическая реализация процессов управления дефектами осуществляется с использованием специализированных систем, поддерживающих баг-трекинг. Сравнительные характеристики наиболее распространенных инструментов представлены в таблице 2 [9-12].

Таблица 2. Сравнение баг-трекинговых систем по поддержке шаблонов баг-репортов

Инструмент	Гибкость шаблонов	Поддержка вложений	Автоматизация рабочего процесса	Интеграция с CI/CD
Jira	Высокая	Высокая	Высокая	Да
YouTrack	Высокая	Высокая	Высокая	Да
Redmine	Средняя–высокая	Высокая	Средняя	Да
Яндекс Трекер	Высокая	Высокая	Высокая	Да
MantisBT	Средняя	Средняя	Средняя	Частично

Анализ показывает, что Jira, YouTrack и Яндекс Трекер обладают наиболее развитыми средствами стандартизации структуры баг-репортов и управления жизненным циклом дефектов. Возможность использования мультимедийных вложений (снимков экрана и видеоза-

писей) также существенно повышает точность интерпретации проблемы и снижает количество уточняющих коммуникаций между тестировщиками и разработчиками [8].

Выводы

Проведённый анализ показал, что технология использования формализованных баг-репортов оказывает существенное влияние на эффективность процессов тестирования и устранения дефектов. Использование специализированных систем баг-трекинга, стандартизация структуры баг-репортов с детализированным описанием и применением визуальных материалов позволяют повысить воспроизводимость ошибок, сократить сроки их анализа и снизить затраты на обеспечение качества программного обеспечения.

Библиографический список

1. Куликов С. В. Тестирование программного обеспечения: базовый курс. – СПб.: Питер, 2023. – 320 с.
2. Прессман Р., Максим Б. Инженерия программного обеспечения: практический подход. – СПб.: Питер, 2020.
3. Что такое баг-репорт и как его составить // GeekBrains. – 2023. – URL: <https://gb.ru/blog/chto-takoe-bag-report> (дата обращения: 10.02.2026).
4. Как правильно оформить баг-репорт // Test IT. – 2024. – URL: <https://testit.software/blog/post/kak-pravilno-oformit-bag-report> (дата обращения: 10.02.2026).
5. ISTQB Глоссарий терминов тестирования программного обеспечения (Русскоязычная версия 4.0) / International Software Testing Qualifications Board.
6. Баг-репорт: что это, виды багов и приоритеты – шаблон и правила оформления // Яндекс Практикум. – 2025. – URL: <https://practicum.yandex.ru/blog/chto-takoe-bug-report-kak-ego-sostavit> (дата обращения: 10.02.2026).
7. От хаоса к порядку: жизненный цикл бага // Habr. – 2025. – URL: <https://habr.com/ru/articles/930426> (дата обращения: 10.02.2026).
8. Пишем хорошие баг репорты. Рекомендации 2024. – URL: <https://software-testing.ru/library/testing/bug-tracking/4313-bug-reports> (дата обращения: 10.02.2026).
9. Jira Software // Официальная документация Atlassian. – URL: <https://www.atlassian.com/software/jira> (дата обращения: 10.02.2026).
10. Яндекс Трекер // Официальная документация Yandex Cloud. – URL: <https://cloud.yandex.ru/docs/tracker/> (дата обращения: 10.02.2026).
11. YouTrack // Официальная документация JetBrains. – URL: <https://www.jetbrains.com/youtrack/> (дата обращения: 10.02.2026).
12. Redmine // Официальная документация. – URL: <https://www.redmine.org/> (дата обращения: 10.02.2026).

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕКСТУРНЫХ ПРИЗНАКОВ ХАРАЛИКА В ЗАДАЧЕ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

С. И. Гусев, Л.Л. Кузнецов

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина

Аннотация. Текстурный анализ является одним из способов получения дополнительной информации о свойствах объектов радиолокационных изображений. При выполнении классификации объектов радиолокационных изображений использование текстурного анализа позволяет повысить точность классификации. В данной работе производится сравнение эффективности текстурных признаков Харалика по точности классификации объектов радиолокационных изображений в классы водной поверхности и суши. Полученные результаты позволили определить ряд наиболее эффективных текстурных признаков, а также показали универсальность данной оценки.

Ключевые слова: текстурный анализ, радиолокационные изображения, текстурные признаки Харалика, классификация объектов.

COMPARISON OF HARALICK TEXTURAL FEATURES EFFECTIVENESS IN TASK TO CLASSIFY RADAR IMAGES OBJECTS

S.I. Gusev, L.L. Kuznetsov

Ryazan State Radioengineering University named after V.F. Utkin

Abstract. Texture analysis is one of the ways to obtain extra information about radar images objects' properties. When performing radar images objects classification, the utilization of texture analysis allows to improve classification accuracy. In this paper we compare effectiveness of Haralick textural features in terms of classification accuracy of radar image objects into classes of water surface and land. The obtained results allowed us to identify a number of the most effective textural features and also demonstrated the universality of this assessment.

Keywords: texture analysis, radar images, Haralick textural features, objects classification.

Классификация объектов на радиолокационных изображениях важна при обработке данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [1]. Ее частный случай – классификация объектов по признаку принадлежности к водной поверхности или суши – используется в задачах обнаружения береговой линии и наблюдения за ее изменением, мониторинга наводнений и паводков и др.

Из-за того, что разные объекты могут обладать схожими свойствами отражения сигналов (например, водная поверхность, асфальтированные дороги и теневые склоны гор), на радиолокационных изображениях они будут иметь близкие значения яркости, что не позволит их корректно классифицировать в автоматическом режиме. Вследствие этого, требуется проводить дополнительную предварительную обработку, которая позволила бы повысить точность классификации.

Одним из таких инструментов является текстурный анализ [2]. Текстурный анализ – направление обработки изображений, целью которого является количественное и качественное описание пространственной организации яркостей пикселей в изображении. Текстура характеризует закономерности повторяемых локальных структур (паттернов) и позволяет выделять объекты или поверхности с одинаковыми свойствами.

Существуют различные методы текстурного анализа, однако одним из наиболее часто используемых является статистический метод, основанный на вычислении матрицы смежности уровней серого, предложенный Р. Хараликом [3]. С помощью данной матрицы можно рассчитать различные текстурные признаки, каждый из которых позволяет охарактеризовать определенную особенность текстуры объектов на изображении. В данной работе выполняется сравнение точности классификации объектов радиолокационных изображений по признаку принадлежности к водной поверхности или суше (целевой классификации), выполненной с помощью различных текстурных признаков Харалика.

Матрица смежности уровней серого (Gray-Level Co-occurrence Matrix, *GLCM*) представляет собой оценку плотности распределения вероятностей второго порядка, полученную по изображению в предположении, что плотность вероятности зависит лишь от расположения двух пикселей. Размер матрицы определяется количеством градаций яркости изображения, а значение каждого элемента равняется встречаемости пары пикселей с соответствующими значениями интенсивностей в заданных позициях друг относительно друга [4].

Построение матрицы P размером $L \times L$ для L квантованных значений яркости текстуры изображения с матрицей яркости I выполняется по следующему правилу [5]:

$$P_{r,\theta}(i, j) = |\{(k, s), (t, v): I(k, s) = i, I(t, v) = j\}|,$$

где i, j – уровни яркости матрицы $P(i, j = \underline{1, L})$;

$I(k, s)$ и $I(t, v)$ – значения элементов матрицы яркости с координатами (k, s) и (t, v) ;

r – расстояние между элементами $I(k, s)$ и $I(t, v)$;

θ – угол между элементами $I(k, s)$ и $I(t, v)$ относительно горизонтальной оси, т.е. направление [6, 7].

Преимуществами *GLCM* являются:

- 1) чувствительность к пространственным взаимосвязям пикселей: в отличие от простых статистик первого порядка (математическое ожидание, дисперсия) *GLCM* учитывает взаимное расположение значений яркости в заданном направлении и на определенном расстоянии, что позволяет описывать структурную упорядоченность и неоднородность сцены;
- 2) гибкость задаваемых параметров (можно варьировать шаг смещения, направление, размер окна, количество уровней квантования), что позволяет адаптироваться к разным масштабам и типам текстур на изображениях;
- 3) компактный набор основных признаков по Харалику образует информативный вектор признаков, удобный для машинного обучения и статистической классификации;
- 4) простота реализации и умеренная вычислительная сложность, что особенно важно при обработке радиолокационных изображений больших объемов данных.

Многочисленные исследования [7, 8] показали, что добавление текстурных признаков *GLCM* к радиофизическим характеристикам (например, коэффициенту обратного рассеяния), повышает точность распознавания типов поверхности на 10-20%, по сравнению с использованием только амплитудной информации.

В своей работе [3] Харалик предложил ряд текстурных признаков, которые можно получить с помощью *GLCM*. К ним относятся:

- 1) Второй угловой момент:

$$f_1 = \sum_i \sum_j \{p(i, j)\}^2,$$

где $p(i, j)$ – нормализованная *GLCM*;

- 2) Контраст:

$$f_2 = \sum_i \sum_j (i - j)^2 p(i, j);$$

- 3) Корреляция:

$$f_3 = \frac{\sum_i \sum_j (i - \mu_x)(j - \mu_y) p(i, j)}{\sigma_x \sigma_y},$$

где μ_x, μ_y – среднее арифметическое, σ_x, σ_y – среднеквадратическое отклонение;

- 4) Дисперсия:

$$f_4 = \sum_i \sum_j (i - \mu)^2 p(i, j),$$

где μ – глобальное среднее матрицы;

- 5) Обратный дифференциальный момент:

$$f_5 = \sum_i \sum_j \frac{p(i, j)}{1 + (i - j)^2};$$

- 6) Средняя сумма:

$$f_6 = \sum_{k=2}^{2L} k p_{x+y}(k),$$

где $p_{x+y}(k) = \sum_i \sum_j p(i, j) \delta(i + j - k)$, $k = 2, 3, \dots, 2L$ – вероятность суммы $i + j = k$, где δ – функция Кронекера;

- 7) Дисперсия сумм:

$$f_7 = \sum_{k=2}^{2L} (k - f_6)^2 p_{x+y}(k);$$

- 8) Энтропия сумм:

$$f_8 = - \sum_{k=2}^{2L} p_{x+y}(k) \log(p_{x+y}(k));$$

9) Энтропия:

$$f_9 = - \sum_i \sum_j p(i, j) \log(p(i, j));$$

10) Дисперсия разностей:

$$f_{10} = \sum_d d^2 p_{(x-y)}(d);$$

11) Энтропия разностей:

$$f_{11} = - \sum_d p_{x-y}(d) \log(p_{x-y}(d)).$$

Перечисленные текстурные признаки мы сравним по эффективности в задаче целевой классификации объектов радиолокационных изображений.

Для выполнения экспериментов мы будем использовать два радиолокационных изображения от космического аппарата «RadarSat-2», приведенные на рисунках

Рис. 3 и

Рис. 4.



Рис. 3. Экспериментальное изображение №1

В рамках данной статьи под эффективностью будем подразумевать точность целевой классификации: чем выше точность – тем выше эффективность. В качестве меры оценки точности классификации мы использовали среднюю точность классификации $Acc_{cp} = (Acc_B + Acc_C)/2$, где $Acc_B = P_B/N_B$, $Acc_C = P_C/N_C$ – точность классификации воды и суши соответственно (P_B , P_C – число корректно классифицированных пикселей воды и суши, определенное по соответствию вручную сформированной эталонной маске классов; N_B , N_C – число пикселей воды и суши, также определенное по эталонной маске).

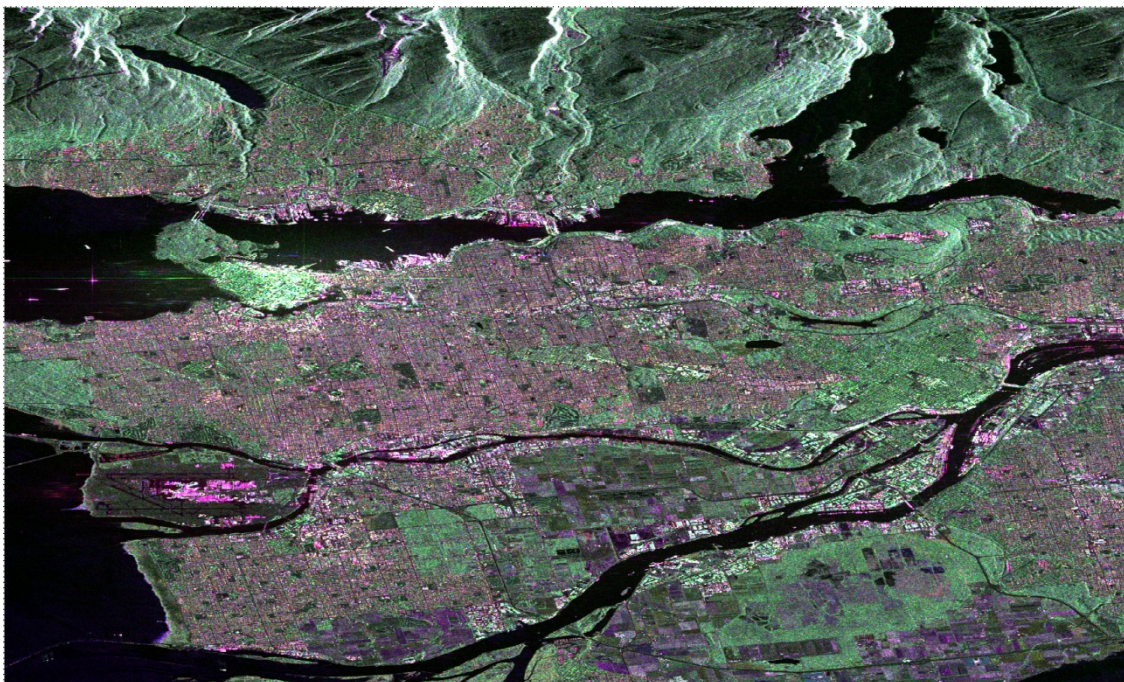


Рис. 4. Экспериментальное изображение №2

Результаты проведенных экспериментов приведены в таблице **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Таблица 2. Результаты оценки точности классификации

Текстурный признак	№ изобр.	Acc _в , %	Acc _с , %	Acc _{ср} , %
Второй угловой момент	1	97,90	98,24	98,07
	2	94,49	95,69	95,09
Контраст	1	95,46	98,88	97,17
	2	85,57	96,08	90,82
Корреляция	1	85,01	87,31	86,16
	2	62,50	90,68	76,59
Дисперсия	1	94,41	99,15	96,78
	2	81,44	97,08	89,26
Обратный дифференциальный момент	1	97,84	98,03	97,93
	2	94,34	95,24	94,79
Средняя сумма	1	96,95	98,57	97,76
	2	90,99	95,26	93,13
Дисперсия сумм	1	94,11	99,14	96,62
	2	80,22	97,34	88,78
Энтропия сумм	1	95,81	98,96	97,38
	2	87,39	96,57	91,98
Энтропия	1	96,81	98,72	97,77
	2	91,05	95,97	93,51
Дисперсия разностей	1	94,62	99,10	96,86
	2	82,03	97,10	89,57
Энтропия разностей	1	96,18	98,85	97,52
	2	88,98	95,88	92,43

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы. Во-первых, наибольшую эффективность показали следующие текстурные признаки (в порядке убывания): второй угловой момент, обратный дифференциальный момент, энтропия, средняя сум-

ма. Во-вторых, для обоих экспериментальных изображений результат упорядочивания текстурных признаков по эффективности идентичный, на основании чего можно сделать вывод, что полученные результаты будут справедливы и для других радиолокационных изображений. В-третьих, наилучшую точность классификации воды обеспечивают второй угловой момент и обратный дифференциальный момент, а наилучшую точность классификации суши – текстурные признаки дисперсии.

Библиографический список

1. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
2. Tuceryan M., Jain A.K. Texture Analysis. In: The Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision // World Scientific. – 1998. – pp. 207–248.
3. Haralick R.M., Shanmugam K., Dinstein I. Textural Features for Image Classification // IEEE Trans. SMC. – 1973. – Vol. 3(6). – pp. 610–621.
4. Ковалева И.Л. Текстуры признаков изображений. Учебное издание / БНТУ, 2010.
5. Фраленко В.П. Методы текстурного анализа изображений, обработка данных дистанционного зондирования Земли // Программные системы: теория и приложения. – 2014. – № 4(22). – с. 19–39.
6. Vovk O.L. Evaluation of statistical features for texture classification // The Visnyk of the SSU. – 2004. – Vol. 71(12). – pp. 98–105.
7. Антощук С.Г., Сербина Н.А. Система распознавания текстурных изображений при экологическом мониторинге // Искусственный интеллект. – 2002. – Том 4. – с. 406–413.
8. Maillard P. Comparing texture analysis methods through classification // PE&RS. – 2003. – Vol. 69(4). – pp. 357–367.

УДК 528.8; ГРНТИ 39.01.85

ОБНАРУЖЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА СПУТНИКОВЫХ СНИМКАХ: КЛАССИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, МАШИННОЕ И ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ

М.Д. Ларин, Е.И. Асаев, А.А. Зайцев, А.В. Соловьев

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, maksimlarin2007@mail.ru*

Аннотация. Лесные пожары представляют собой одну из наиболее серьезных природных катастроф, угрожающих экосистемам и безопасности человека. В данной статье рассматривается эволюция методов обнаружения пожаров с использованием данных космического дистанционного зондирования Земли. Проведен обзор от классических пороговых алгоритмов и спектральных индексов (NBR) до современных архитектур машинного и глубокого обучения (CNN, U-Net, Vision Transformers). Особое внимание уделено анализу наборов данных, а также внедрению механизмов внимания в нейросетевые модели. Сравнительный анализ показывает, что методы глубокого обучения, в частности архитектура U-Net, достигают точности свыше 92%, значительно снижая количество ложных срабатываний по сравнению с традиционными методами.

Ключевые слова: лесные пожары, дистанционное зондирование Земли, спутниковые снимки, обнаружение пожаров, мультиспектральные данные, спектральные индексы, машинное обучение, глубокое обучение, U-Net, трансформеры зрения, семантическая сегментация, термические аномалии, бинарная классификация, нейронные сети.

DETECTION OF WILDFIRES IN SATELLITE IMAGERY: CLASSICAL METHODS, MACHINE LEARNING AND DEEP LEARNING

M.D. Larin, E.I. Asaev, A.A. Zaitsev, A.V. Solovev

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, maksimlarin2007@mail.ru*

The summary. Wildfires are among the most serious natural disasters threatening ecosystems and human safety. This paper examines the evolution of wildfire detection methods using satellite remote sensing data. A review is conducted covering classical threshold-based algorithms and spec-

tral indices (NBR) as well as modern machine learning and deep learning architectures (CNN, U-Net, Vision Transformers). Special attention is given to dataset analysis and the integration of attention mechanisms into neural network models. Comparative analysis shows that deep learning methods, particularly the U-Net architecture, achieve accuracy exceeding 92%, significantly reducing the number of false positives compared to traditional approaches.

Keywords: wildfires, remote sensing, satellite imagery, wildfire detection, multispectral data, spectral indices, machine learning, deep learning, U-Net, Vision Transformers, semantic segmentation, thermal anomalies, binary classification, neural networks.

Лесные пожары представляют собой глобальную природную катастрофу, сопровождающуюся разрушением экосистем, значительными экономическими потерями и долгосрочными изменениями климата. В условиях учащения периодов засухи и аномально высоких температур критическую роль приобретает оперативность выявления очагов возгорания. Традиционные методы наземного наблюдения и авиапатрулирования сложны и неэффективны при мониторинге обширных и труднодоступных территорий.

Спутниковое дистанционное зондирование стало альтернативой, обеспечивающей глобальный и непрерывный мониторинг земной поверхности. Современные спутниковые системы, такие как Landsat-8, Sentinel-2, MODIS и «Арктика-М», предоставляют мультиспектральные данные, позволяющие выявлять термические аномалии на ранних стадиях. Эволюция технологий обработки этих данных прошла путь от простейшей фильтрации до интеграции методов искусственного интеллекта.

Задача обнаружения пожара на спутниковых снимках формулируется как задача бинарной сегментации и классификации пикселей. Необходимо для каждого пикселя мультиспектрального изображения определить его принадлежность к классу «пожар» (активное возгорание) или «фон» (растительность, вода, облака).

При решении данной задачи возникают три системных ограничения. Во-первых, выраженный дисбаланс классов, обусловленный тем, что доля пикселей, соответствующих пожару, редко превышает 0,1 % от общего объема снимка, что снижает информативность метрики общей точности. Во-вторых, атмосферные помехи в виде дымовых шлейфов, облачности и пылевых взвесей затрудняют идентификацию очагов и провоцируют ложные срабатывания. В-третьих, поверхностные артефакты, такие как отражения от городской застройки, нагретые песчаные массивы или же участки оголенной почвы, обладают спектральными характеристиками, близкими к признакам горения. Для объективной оценки качества алгоритмов применяются специализированные метрики, включая точность (Precision), полноту (Recall), F1-Score и индекс пересечения над объединением.

Классические методы обнаружения пожаров базируются на анализе физических свойств объектов. В отличие от нейросетей, эти подходы опираются на заранее заданные математические формулы.

“Классику” (здесь – классические методы) можно разделить на несколько основных категорий.

1. Спектральные индексы – это математические комбинации значений яркости пикселей в различных спектральных каналах, усиливающие контраст между зонами горения и естественным растительным фоном. Например, NBR (Normalized Burn Ratio) использует соотношение ближнего (NIR) и среднего инфракрасного (SWIR) каналов; dNBR (Differenced NBR) – разницу между значениями индекса NBR до и после пожара. Этот показатель позволяет количественно оценить степень повреждения леса; MIRBI – специализированный индекс для аридных (засушливых) зон, где обычные индексы могут ошибаться из-за влияния открытой почвы.

2. Пороговые алгоритмы – методы, которые анализируют температуру пикселей в инфракрасных каналах. Ключевым признаком пожара является локальный температурный всплеск. К числу наиболее известных решений относится алгоритм MOD14 (для сенсора

MODIS). Он сравнивает температуры в каналах 4 мкм и 11 мкм. Если яркостная температура в канале 4 мкм днем превышает 312 К (ночью – 305 К), пиксель помечается как потенциальный очаг. Для данных AVHRR применяются методы Кауфмана и Франса, которые используют систему условий для отделения активного огня от фона.

3. Контекстуальные методы определяют пожар на основе сравнения характеристик конкретного пикселя со статистикой его соседних пикселей:

- алгоритм Schroeder анализирует статистические показатели (среднее и стандартное отклонение) в скользящем окне размером 61x61 пиксель;
- алгоритм Murphy – бесконтекстный метод, который фокусируется на анализе интенсивности в каналах с5, с6 и с7 с учётом ближайшей окрестности 3x3;
- алгоритм Kumar-Roy использует динамически изменяемый размер анализируемой окрестности (от 5x5 до 61x61 пикселя), чтобы лучше адаптироваться к региональным особенностям ландшафта.

Классические методы имеют фундаментальные ограничения (чувствительность к помехам, низкая адаптивность, неэффективность при больших объемах данных), поэтому стали развиваться модели машинного обучения (ML). Традиционное машинное обучение позволило перейти от формул к статистическим алгоритмам. В качестве признаков используются векторы значений отражательной способности в различных спектральных каналах, а также рассчитанные индексы (NDVI, NBR).

Рассмотрим в контексте машинного обучения два алгоритма. SVM (Метод опорных векторов) показывает высокую стабильность в задачах бинарной классификации и эффективен при работе с мультиспектральными данными. Random Forest (Случайный лес) – мощный ансамблевый метод, устойчивый к переобучению. Он позволяет интегрировать спектральные данные с метеорологическими параметрами (скорость ветра, влажность) и характеристиками рельефа.

Исследования показывают, что точность ML-методов может достигать 95-98% при условии качественной предварительной обработки и экспертного выбора признаков.

Глубокое обучение позволило существенно повысить точность в анализе спутниковых данных, заменив ручное проектирование признаков способностью нейросетей самостоятельно извлекать сложные закономерности непосредственно из пикселей. Это подмножество машинного обучения использует многослойные нейронные сети для моделирования комплексных паттернов в огромных массивах данных.

Архитектура U-Net является стандартом для семантической сегментации. Она имеет U-образную форму и состоит из энкодера (сжимает изображение для извлечения контекста) и декодера (восстанавливает пространственное разрешение для точной локализации). Пропускные связи (skip connections) позволяют объединять информацию с ранних слоев с абстрактными признаками из глубоких слоев. Существуют облегченные версии, такие как U-Net Light, оптимизированные для работы с 3 каналами данных вместо исходных 10, что критично для экономии вычислительных ресурсов.

Сверточная нейронная сеть (CNN, Convolutional Neural Network) – тип глубоких нейросетей, который автоматически выделяет признаки из изображений для задач классификации и сегментации.

Архитектуры типа VGG16, ResNet и EfficientNet эффективно решают задачи классификации снимков. Например, EfficientNet-B0 на наборе данных CWGID показала точность выше 92,5%, требуя меньше ресурсов, чем стандартные CNN.

Трансформеры зрения (Vision Transformers, ViT) – это направление, преодолевающее проблемы обычных сверток. Благодаря механизму самовнимания (self-attention), трансформеры (например, TransUNet, SegFormer) учитывают глобальный контекст всего изображения. Это позволяет, например, связать дымовой шлейф на одном краю снимка с очагом возгорания на другом.

Проведем сравнительный анализ методов обнаружения пожаров, рассмотрев каждый из них с точки зрения точности, устойчивости к помехам и скорости вычисления данных.

Точность и полнота обнаружения

Сравнение показывает четкую иерархию эффективности: методы глубокого обучения превосходят классические подходы по метрикам полноты (Recall) и F1-score.

Классические методы. Алгоритмы типа Schroeder, Murphy, Kumar-Roy обеспечивают полноту обнаружения на уровне около 70,2 %. Они часто пропускают небольшие очаги пламени или области с высокой интенсивностью дыма.

Машинное обучение. Модели машинного обучения, в частности случайный лес, повышают данный показатель до 80–90 % за счёт ансамблевого механизма, эффективнее обрабатывающего нелинейные закономерности распределения тепловых аномалий.

Глубокое обучение. Архитектуры глубокого обучения превосходят предыдущие подходы, обеспечивая полноту до 92,4 % в случае U-Net и F1-меру до 97,7 % для гибридных трансформеров, учитывающих глобальный контекст изображения.

Устойчивость к ложным срабатываниям

Ложные реагирования от городских зданий, перегретой почвы и облаков – частая проблема. Рассмотрим, как с этим справляются различные методы.

Классические методы. Пороговые методы весьма чувствительны к артефактам поверхности. Блики от построек в городах или нагретая почва в пустынях часто ошибочно классифицируются как огонь.

Машинное и глубокое обучение. Машинное и глубокое обучение гораздо стабильнее. Исследования показывают, что нейросети, обученные методом «голосования» на нескольких классических алгоритмах, успешно фильтруют ложные пиксели пожара.

Вычислительная сложность и скорость

Классические методы самые быстрые и нетребовательные. Работают на основе простых математических формул. Это позволяет использовать их для оперативного глобального мониторинга на уровне целых стран.

Нейросетевые модели CNN относительно быстры при инференсе (от 25 до 36 мс на батч (пакет)). Существуют также легковесные модели – модификации типа U-Net Light или MobileNetV2. Они сокращают время обработки до 3,6–5 мс на пакет, что создаёт оптимальный баланс между точностью и производительностью для встраиваемых вычислительных систем.

Требования к данным и автоматизация

Классические методы требуют экспертной ручной настройки порогов для каждого конкретного биома, сезона и типа спутника.

Подходы машинного обучения требуют этапа инженерии признаков, в ходе которого эксперт самостоятельно рассчитывает спектральные индексы и формирует обучающую выборку.

Методы глубокого обучения исключают необходимость ручного конструирования признаков за счёт автоматического извлечения иерархических закономерностей, однако их эффективность напрямую зависит от объёма и качества размеченных данных.

Заключение

Переход от пороговых алгоритмов к методам глубокого обучения ознаменовал новый этап в мониторинге лесных пожаров. Модели архитектуры U-Net и трансформеры зрения позволяют автоматизировать процесс обнаружения, обеспечивая высокую детализацию даже в сложных атмосферных условиях. Тем не менее выбор подхода зависит от конкретной задачи, доступных данных и вычислительных ресурсов. В некоторых случаях более простые методы всё ещё могут быть оправданы.

Библиографический список

1. Янец, П. К. Использование Google Earth Engine (GEE) и спутниковых снимков LANDSAT для определения характеристик лесных пожаров / П. К. Янец, С. А. А. Иванова, Ю. Г. Данилов // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. – 2022.
2. С. М. Зраенко, М. А. Мырина, В. В. Ганжа Обучаемый алгоритм обнаружения пожаров по данным дистанционного зондирования // Журнал радиоэлектроники. – 2014
3. Маглинец Ю.А. Раевич К.В. Шатров Р.А. Брежнев Р.В. Михалев А.С. Матюнин В.М. Антипова Е.А. Автоматизация процесса обнаружения лесных пожаров по данным дистанционного зондирования арктика-м // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024
4. В.С. Бочков Л.Ю. Катаева Д.А. Масленников И.В. Каспаров Применение архитектуры глубокого обучения u-net для решения задачи выделения высокотемпературных зон пожара на видео // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. - 2019.
5. Gabriel Henrique de Almeida Pereira, Bogdan Tomoyuki Nassu, André Minoro Fusioka, Rodrigo Minetto Active fire detection in landsat-8 imagery: a large-scale dataset and a deep-learning study // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2021

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.15

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОРТИРОВАНИЯ ДЕСКТОПНОГО ГИС-ПРИЛОЖЕНИЯ В ВЕБ-СРЕДУ: JAVASCRIPT И WEBASSEMBLY

Д.А. Борисов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, borisovda3@gmail.com*

Аннотация. В работе рассмотрены способы переноса в web-среду десктопного C++ приложения с поддержкой визуализации 16-битных изображений. Первый способ связан с созданием графического интерфейса на языке программирования JavaScript, второй – портирование C++ приложения путем компиляции в WebAssembly (WASM). Описаны особенности и ограничения этих способов, дана их сравнительная характеристика. Предложены рекомендации по выбору способа портирования существующего программного комплекса обработки данных ДЗЗ.

Ключевые слова: десктопное приложение, контрастирование, визуализация, C++, Qt, Web-UI, JavaScript, WebAssembly, Emscripten.

ANALYSIS OF WAYS TO PORT A DESKTOP GIS APPLICATION TO A WEB ENVIRONMENT: JAVASCRIPT AND WEBASSEMBLY

D.A. Borisov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, borisovda3@gmail.com*

The summary. The paper considers ways to transfer a desktop C++ application with support for 16-bit image visualization to the web environment. The first method involves creating a graphical interface in the JavaScript programming language, and the second is porting a C++ application by compiling it into WebAssembly (WASM). The features and limitations of these methods are described, and their comparative characteristics are given. Recommendations on the choice of a method for porting the existing remote sensing data processing software package are proposed.

Keywords: desktop application, contrast, visualization, C++, Qt, Web-UI, JavaScript, WebAssembly, Emscripten.

В современных системах дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) при их штатном функционировании стандартные продукты [1] создаются в автоматическом режиме. Однако процедуры калибровки, оценки качества и ряд иных технологических операций проводятся в автоматизированном режиме с привлечением квалифицированного оператора [2]. Для обеспечения возможности визуального анализа изображений и их интерактивной обработки создается отдельный компонент: графический интерфейс пользователя (компонент визуализации, КВ). Этот компонент включает панели меню, диалоги, графики и области просмотра изображений. Большинство оптических систем наблюдения формируют 16-битные изображения. Графический интерфейс обеспечивает их визуализацию с преобразованием 16-битных данных в 8-битное представление с учетом динамически изменяемых пользователем параметров контрастирования.

Для упрощения горизонтального масштабирования новые комплексы обработки данных ДЗЗ проектируются для функционирования в кластере контейнерной виртуализации под управлением стандартных оркестраторов [2]. Размещение в контейнере предполагает отделение графического интерфейса с его реализацией в виде отдельного веб-приложения. Это приложение должно запускаться в браузере и взаимодействовать с остальными компонентами программного комплекса по сети.

Целью работы является анализ способов портирования графического интерфейса десктопного приложения в веб-среду. Первый способ предполагает создание графического интерфейса на языке программирования JavaScript. Второй способ связан с частичным сохранением имеющейся кодовой базы, используя средства WebAssembly (WASM) [3].

Существующий технический задел представляет собой C++ приложение с модульной архитектурой в виде ядра и ряда других компонентов, включая КВ [4]. В контексте исследования способов портирования графического интерфейса ядро рассматривается как механизм, обеспечивающий транспорт потоков данных и набор высокоуровневых команд, включая API для доступа к данным изображений. КВ предназначен для отображения тайлированных изображений, их контрастирования и масштабирования. Компонент реализован на основе фреймворка Qt (модуль Qt Widgets).

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- 1) изучить механизмы отображения изображений на веб-странице;
- 2) провести сравнение двух способов портирования компонента визуализации в веб-среду с учетом ограничений и особенностей графического интерфейса, включая высокую частоту отрисовки фрагментов изображений (тайлов) и необходимость визуализации 16-битных изображений с динамическим изменением параметров контрастирования.

Механизмы высокопроизводительного отображения изображений в веб-приложении

Существует два варианта отображения изображений в веб-приложении: непосредственное использование элементов HTML и рендеринг на основе WebGL.

1. Элементы HTML

Язык разметки HTML предоставляет несколько механизмов для интеграции визуального содержимого страницы. Они различаются по семантике, способу обработки браузером и типу подключаемого ресурса: элементы `img`, `object` и `canvas`.

Элемент `img` – стандартный механизм внедрения растровых изображений в документ.

Элемент `object` – механизм для интеграции произвольного внешнего ресурса. Элемент может обрабатываться как изображение, вложенный контекст просмотра или ресурс, обрабатываемый плагином.

Эти механизмы ориентированы на статические изображения и не позволяют обеспечить высокую частоту перерисовки (от 30 кадров в секунду, FPS) при программном изменении данных (контрастировании).

Элемент canvas предназначен для отображения графики и анимаций. Он используется совместно с canvas scripting API или с WebGL API (будет рассмотрен далее).

Механизм отображения тайлированных изображений с помощью canvas удовлетворяет требованиям по частоте перерисовки при визуализации 8-битных изображений. Однако отсутствие встроенной поддержки 16-битных изображений делает невозможным его применение для решения поставленной задачи.

2. WebGL

WebGL (Web Graphics Library) представляет собой JavaScript API для высокопроизводительного рендеринга интерактивной 2D- и 3D-графики внутри браузера. Спецификация WebGL 2.0 основывается на стандарте OpenGL ES 3.0. Важной особенностью WebGL с точки зрения решаемой задачи является поддержка эффективного распределения нагрузки: API позволяет задействовать графический процессор (GPU) для параллельных вычислений, сохраняя при этом возможность программной эмуляции на центральном процессоре (CPU) при отсутствии специализированных ускорителей [5].

В отличие от стандартных HTML-элементов, WebGL предоставляет поддержку текстур с глубиной цвета 16 бит, а также работу с данными в форматах с плавающей запятой (float и half-float/FP16) [6].

При обработке данных ДЗЗ важно обеспечить высокую частоту обновления кадров при навигации и динамическом изменении контрастности. Таким образом, для реализации графического интерфейса пользователя целесообразно использование стека WebGL. Выбор обусловлен возможностью выполнения потоковой обработки 16-битных тайлов на стороне веб-клиента.

Способы портирования компонента визуализации в веб-среду

Рассмотрим два способа портирования компонента визуализации.

1. Реализация на JavaScript с использованием WebGL

Большинство веб-приложений, взаимодействующих с WebGL, реализованы на языке программирования JavaScript или TypeScript, в которых API WebGL можно задействовать напрямую или при помощи специализированных JavaScript-библиотек (Three.js, Babylon.js, PlayCanvas). Предварительный анализ показал, что эти библиотеки предоставляют высокоуровневый API, использование которого затрудняет организацию попиксельной обработки изображений при контрастировании. Поэтому в контексте решаемой задачи предпочтительно непосредственное использование API WebGL. Программы на основе WebGL состоят из управляющего JavaScript-кода и шейдера (GLSL), который выполняется на графическом процессоре. Элементы WebGL можно использовать с другими элементами HTML и комбинировать с иными частями страницы или фоном страницы [7].

2. Компиляция C++ приложения в WebAssembly

Менее распространенным способом является разработка приложения на компилируемом языке программирования и дальнейшее портирование приложения в веб-среду с помощью WebAssembly (WASM). WASM – это встроенная в современные браузеры платформа исполнения байт-кода [3].

Поставлен эксперимент по созданию графического интерфейса приложения, разработанного на C++ на основе фреймворка Qt, с его дальнейшей сборкой в WebAssembly. Интерфейс реализован при помощи Qt Quick (QML). В отличие от Qt Widgets, QML по умолчанию использует OpenGL/WebGL для рендеринга элементов, что позволяет задействовать графический ускоритель и обеспечить быструю работу в браузере [8].

Схема взаимодействия компонента Qt Quick с графическими API представлена на рисунке 1. WASM приложение на основе Qt может задействовать API WebGL для отображения изображений с помощью API QRhi от Qt.

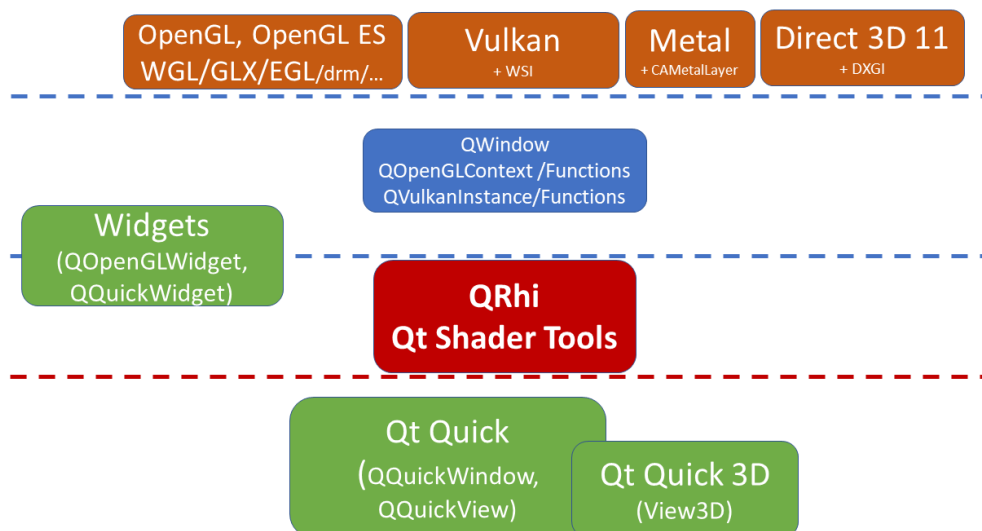


Рис. 1. Схема взаимодействия Qt Quick с графическими API [8]

Для преобразования C++ кода в байт-код WASM применяются инструменты Emscripten. Собранное приложение представляет собой набор файлов:

- app.html (HTML контейнер);
- qtloader.js (JavaScript API для загрузки Qt приложений);
- app.js (JavaScript runtime, созданный Emscripten);
- app.wasm (бинарный файл приложения).

Вспомогательные файлы app.html, qtloader.js, app.js обеспечивают функциональность веб-страницы, при загрузке которой осуществляется получение кода app.wasm от сервера и его запуск [9].

Анализ способов портирования

Проведен анализ способов портирования компонента графического интерфейса в веб-среду по трем критериям: трудоемкость разработки и сопровождения, производительность, размер приложения.

1. Трудоемкость разработки и сопровождения

Компонент графического интерфейса пользователя является составной частью программного комплекса, разработка которого ведется на языке C++. При этих условиях предпочтительно обеспечить реализацию графического интерфейса в веб-среде также на C++ для поддержания единой кодовой базы с максимально возможным сохранением существующего задела. Применение JavaScript/TypeScript предполагает привлечение дополнительных специалистов, а его поддержка в десктоп-версиях комплекса затруднительна.

2. Производительность

Проведена оценка быстродействия прототипа графического интерфейса Qt + WASM при отображении 16-битных изображений в полноэкранный режим на мониторе с разрешением 2560×1440 пикселей. Значение FPS составило 60 при использовании графического ускорителя базового уровня (NVIDIA GeForce GTX 1050). При этом величина FPS ограничена частотой обновления монитора (V-Sync), а не производительностью оборудования.

На момент публикации экспериментальная оценка быстродействия аналогичной JavaScript-реализации не произведена. Ввиду применения идентичного API WebGL для отрисовки прогнозируется сопоставимая частота кадров, возможно, с меньшей нагрузкой на центральный процессор (вызов WebGL в WASM связан с большими накладными расходами, чем в JavaScript).

3. Размер приложения

Размер экспериментального WASM-приложения составляет 38 МБ. Размер аналогичной реализации на JavaScript по предварительным оценкам составит не более 1 МБ. Однако большой размер WASM-приложения не является ограничивающим фактором (особенно в условиях широкополосного Интернет-соединения), влияя только на время подготовки приложения к запуску. При этом сохранение существующего задела является важным для создания качественной реализации в сжатые сроки.

Заключение

Проведен анализ способов портирования компонента графического интерфейса в веб-среду. Поставлен эксперимент по его портированию с использованием WebAssembly. Разработанный компонент удовлетворяет функциональным требованиям, однако имеет две особенности. Во-первых, размер полученного приложения на порядок превышает размер реализации на JavaScript. Во-вторых, для доступа к аппаратному ускорению необходимо задействовать модуль Qt Quick, что ограничивает возможность использования существующего графического интерфейса, построенного на ином API (например, Qt Widgets). В то же время портирование C++ решения при помощи WebAssembly позволяет сохранить единообразную кодовую базу и обеспечивает возможность сборки программного комплекса как для работы в веб-среде, так и для функционирования в виде классического десктоп-приложения. В связи с этим рекомендуется осуществить портирование компонента визуализации программного комплекса обработки данных ДЗЗ в веб-среду с использованием WebAssembly.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 70662– 2023. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Служебные форматы : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : введен впервые : дата введения 2024-01-01. - Москва : Институт стандартизации, 2023. - 6 с.
2. Федоткин Д. И., Боровенский Е. Н., Сысенко Д. В., Ядькин А. В., Лошкарев П. А. Автоматическая обработка данных космической съёмки в наземном сегменте отечественной многоспутниковой группировки КА ДЗЗ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2024. – Т. 21, № 3. – С. 9–30.
3. WebAssembly // WebAssembly : сайт. – URL: <https://webassembly.org> (дата обращения: 26.02.2026). – Текст : электронный.
4. Побаруев, В. И. Унифицированная программная платформа создания средств обработки данных дистанционного зондирования Земли - "Eg-set" / В. И. Побаруев // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2016. – № 55. – С. 95-103. – EDN WEZMCT.
5. WebGL: 2D and 3D graphics for the web // MDN Web Docs : сайт. – URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebGL_API (дата обращения: 26.02.2026). – Текст : электронный.
6. OES_texture_half_float extension // MDN Web Docs : сайт. – URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/OES_texture_half_float (дата обращения: 26.02.2026). – Текст : электронный.
7. Getting started with WebGL // MDN Web Docs : сайт. – URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebGL_API/Tutorial/Getting_started_with_WebGL (дата обращения: 26.02.2026). – Текст : электронный.
8. Graphics // Qt Group Documentation : сайт. – URL: <https://doc.qt.io/qt-6/topics-graphics.html> (дата обращения: 26.02.2026). – Текст : электронный.
9. Qt for WebAssembly // Qt Group Documentation : сайт. – URL: <https://doc.qt.io/qt-6/wasm.html> (дата обращения: 26.02.2026). – Текст : электронный.

УДК 378.147: 528.8

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ В ОБЛАСТИ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ЧЕРЕЗ АДАПТИВНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТРАЕКТОРИИ

А.Н. Колесенков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, kt.rsreu@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматривается оригинальный подход к индивидуализации образовательного процесса при подготовке специалистов для космической отрасли. Предложенная модель обеспечивает гибкое построение учебных планов на основе количественного анализа уровня подготовки каждого студента. Описан метод формирования рабочих групп для проектных заданий. Он учитывает различия в подготовке участников и позволяющий студентам восполнять пробелы друг друга в ходе совместной работы. Предложенный подход применим для модернизации образовательных программ и может быть интегрирован в существующие информационные системы университетов.

Ключевые слова: космические технологии, адаптивная образовательная программа, практико-ориентированное обучение, геоинформационные системы, данные ДЗЗ, ГИС.

DEVELOPING STUDENT COMPETENCIES IN SPACE TECHNOLOGIES THROUGH ADAPTIVE EDUCATIONAL PATHWAYS

A.N. Kolesenkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, kt.rsreu@yandex.ru*

The summary. This article examines an original approach to individualizing the educational process in training specialists for the space industry. The proposed model allows for flexible curriculum development based on a quantitative analysis of each student's level of preparation. A method for forming working groups for project assignments is described. It takes into account differences in participants' preparation and allows students to complement each other's gaps through collaborative work. The proposed approach is applicable to modernizing educational programs and can be integrated into existing university information systems.

Keywords: space technologies, adaptive educational program, practice-oriented learning, geographic information systems, remote sensing data, GIS.

Актуальность исследования определяется бурным развитием космической отрасли. Оно формирует устойчивый спрос на инженерные кадры, обладающие навыками в области геоинформационных систем (ГИС) и обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Одновременно с этим происходит трансформация образовательных программ, позволяющая вузам перейти от дисциплинарного к проектному подходу [1].

Однако традиционные учебные планы не обладают достаточной гибкостью. Этот недостаток становится особенно заметным при освоении междисциплинарных областей. К ним относятся космические технологии, требующие от специалиста интеграции знаний из области обработки изображений, геоинформатики, бортовых вычислений и анализа больших данных [2]. Предлагаемая в работе модель призвана устранить этот разрыв. Она вводит инструменты количественной оценки профессиональных качеств и механизмы адаптации учебного процесса под нужды конкретного студента.

Анализ существующих образовательных программ в данной сфере выявляет ряд недостатков. Среди них можно выделить излишнюю жёсткость учебных планов, не позволяющую учитывать индивидуальные темпы освоения студентами материала. Отсутствуют объективные количественные критерии для оценки реального уровня сформированности профессиональных навыков [3]. Добавляется малое количество теоретических курсов с практической проектной деятельностью.

Опыт показывает, что при традиционной организации учебного процесса наблюдается существенная неоднородность в уровне подготовки выпускников. Подобная ситуация указы-

вадет на необходимость поиска и внедрения новых, более гибких и персонализированных подходов к обучению.

Современные методы адаптивного обучения в вузах опираются на бинарные (зачет/незачет) или бальные оценки. Они не учитывают статистического распределения уровней подготовки в группе [4]. Практика в области космических технологий имеет свои ограничения. Курсовые работы, хотя и охватывают большинство студентов, носят фрагментарный характер. Стажировки на предприятиях отрасли ограничены по охвату и доступны небольшому числу студентов. Таким образом, ключевой нерешённой проблемой остаётся отсутствие механизма обратной связи между результатами проектной деятельности и внесением уточнений в индивидуальный план обучения студента [5].

В основе предлагаемого подхода лежит структурированное представление о необходимых специалисту навыках, сгруппированных в четыре основных блока:

- обработка и анализ данных ДЗЗ;
- работа с ГИС;
- программирование алгоритмов обработки изображений;
- интерпретация результатов в прикладной области.

Практическая реализация предложенного подхода требует пересмотра привычной логики организации учебных занятий. На начальном этапе преподавателю важно получить не формальную оценку успеваемости, а развернутую картину того, как именно студент решает задачу. Нужно отследить, какие операции он выполняет осознанно, а какие воспроизводит по образцу, не понимая их назначения. Для этого в структуру дисциплины необходимо включить задания, предполагающие поэтапное выполнение обработки спутникового изображения. Необходимо внедрить комментирование выбора параметров, что позволит выявить пробелы, не проявляющиеся при тестовом контроле.

Особое значение имеет анализ типичных ошибок, возникающих при работе с данными ДЗЗ. Нередко студенты корректно применяют инструмент фильтрации или классификации аэрокосмических изображений, но не учитывают характеристики исходного снимка. Это приводит к искажению итогового результата. Повторяющиеся ошибки свидетельствуют о неполном понимании физической природы данных, формируемых сенсорами космических аппаратов. Выявление подобных затруднений на раннем этапе позволяет скорректировать содержание практических занятий. Преподаватель может ввести дополнительные разъяснения, направленные на осмысление причинно-следственных связей между задачами.

При организации проектной работы особое внимание уделяется распределению задач внутри группы. Это исключает ситуацию, при которой один участник берёт на себя весь объём программной реализации, а остальные ограничиваются оформлением отчёта. Для этого каждая проектная команда получает задание, требующее последовательного выполнения нескольких этапов. Они включают подготовку исходных данных, выбор метода обработки, анализ полученного результата и его интерпретацию в прикладном контексте. Такой порядок работы не позволяет ограничиться формальным выполнением отдельных операций. Он способствует более глубокому включению студентов в профессиональную деятельность.

Предлагаемый алгоритм адаптивного обучения (рис. 1) включает в себя следующие шаги. Сначала определяется положение студента в общем рейтинге группы по каждому из ключевых навыков. Затем этот показатель сравнивается с целевым уровнем, установленным для текущего этапа обучения. В случае значительного отставания система формирует для студента дополнительный учебный модуль, направленный на устранение выявленных пробелов. Затем его персональная программа обучения обновляется.

Отдельного внимания заслуживает вопрос формирования проектных групп. Он в большинстве учебных программ решается либо случайным образом, либо по желанию студентов. Обычно оба варианта дают предсказуемо слабый результат.

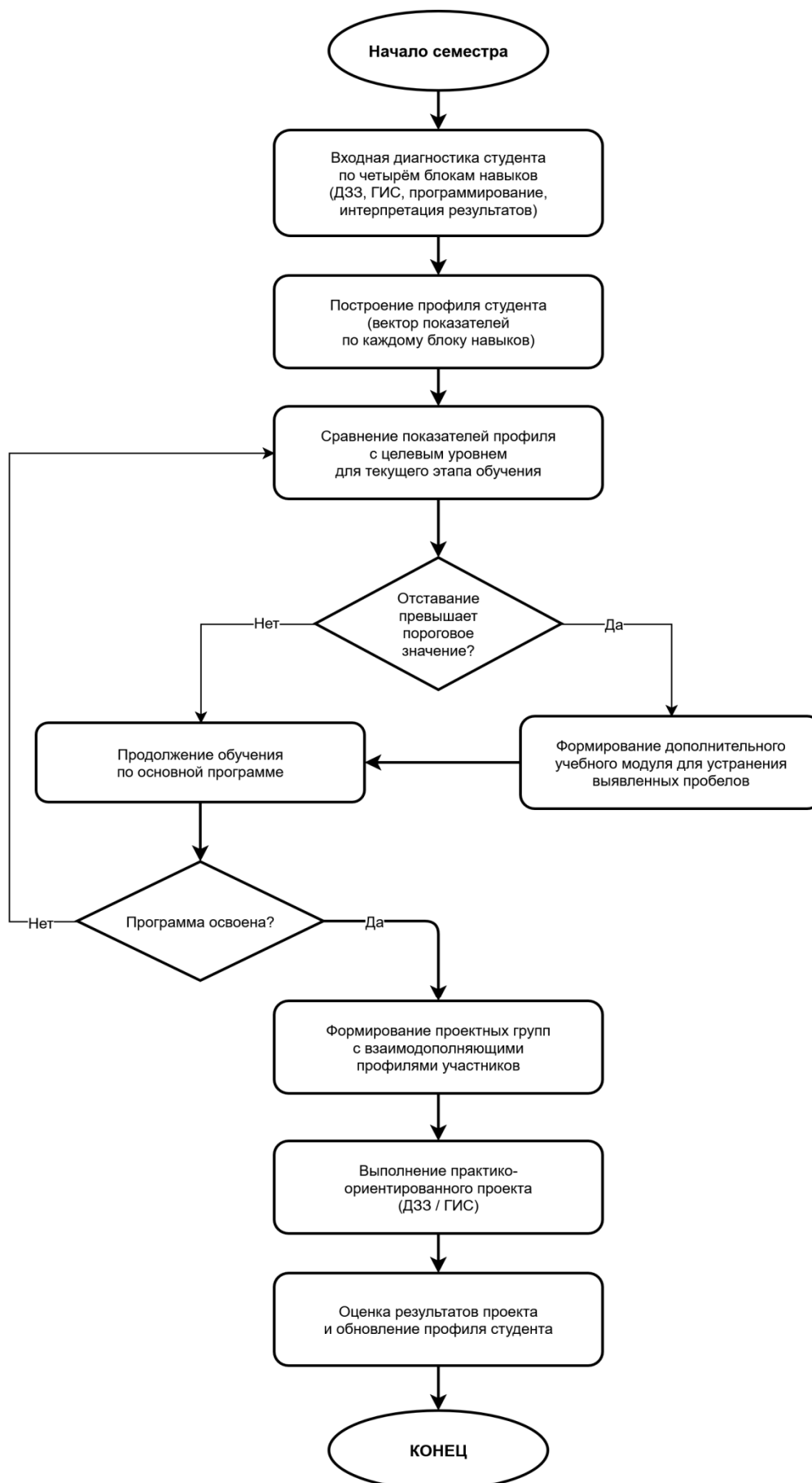


Рис. 1. Алгоритм адаптивного обучения

Когда студенты объединяются по принципу личного знакомства, группа нередко оказывается однородной по профилю подготовки. Такая группа не справляется с заданием, потому что в ней не хватает нужных навыков в нужном сочетании.

Предложенный в работе алгоритм подбора состава групп строится на данных диагностики. Он позволяет собрать вместе людей с взаимодополняющими профилями подготовки. Студент, уверенно работающий с пространственными базами данных, но испытывающий затруднения при написании кода, попадает в группу с тем, у кого обратная ситуация. В результате каждый участник оказывается в позиции, при которой ему есть чему научиться у одноклассников и есть что предложить взамен.

Практически это выглядит следующим образом. После контрольной проверки по четырём блокам навыков преподаватель получает профиль каждого студента. Отмечу, что это не единственная оценка, а вектор из четырёх показателей, отражающих распределение сильных и слабых сторон студентов [6]. На основе этих профилей группы формируются так, чтобы суммарный профиль команды был по возможности равномерным.

Диагностический компонент системы построен на основе тестирования студентов по четырём блокам профессиональных навыков. Существенную роль играет оценка практических умений через выполнение практических и лабораторных работ.

Апробация предложенной модели на практике продемонстрировала её преимущества. Ключевым результатом стало повышение однородности образовательных результатов, что является критически важным для подготовки кадров в высокотехнологичных отраслях. Модель обладает практической применимостью для совершенствования образовательных программ технических вузов. Она может повысить качество подготовки специалистов для космической отрасли.

Совершенствование подготовки студентов в области космических технологий возможно при условии внимательного анализа текущих результатов обучения. Требуется регулярное выявление типичных затруднений и гибкое распределение проектных заданий внутри группы. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности дальнейшего развития данного подхода и его внедрения в практику технических вузов.

Библиографический список

1. Состояние, проблемы и перспективы развития современного образования: монография. – Петрозаводск : Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2020. – 293 с. – ISBN 978-5-907327-65-8.
2. Бойко, А. Э. Анализ результатов тестирования большой выборки обучающихся с помощью инструментов data science / А. Э. Бойко, Т. В. Савицкая, Д. С. Лопаткин // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2023. – № 85. – С. 103-116. – DOI 10.21667/1995-4565-2023-85-103-116. – EDN VSHXII.
3. Колесенков, А. Н. Методологические основы интеграции цифровых двойников в учебный процесс подготовки инженерных кадров нового поколения / А. Н. Колесенков, Б. В. Костров // Цифровые трансформации в образовании (E-Digital Siberia'2025) : Материалы IX Международной научно-практической конференции, Новосибирск, 23–24 апреля 2025 года. – Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения, 2025. – С. 176-183.
4. Корячко, В. П. Применение методов машинного обучения для классификации материалов на основе их ключевых характеристик / В. П. Корячко, С. Д. Викулин // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2025. – № 92. – С. 132-145. – DOI 10.21667/1995-4565-2025-92-132-145. – EDN HSAQVN.
5. Научно-образовательные технологии в области передачи и обработки информации аэрокосмических систем / А. И. Таганов, С. И. Гусев, А. Н. Колесенков [и др.] // 7-я международная научно-техническая конференция "К.Э.Циолковский - 160 лет со дня рождения. Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика" : Тезисы докладов, Рязань, 04–06 октября 2017 года. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет, 2017. – С. 304-306.
6. Применение искусственных нейронных сетей и машинного обучения к оценке качества коллективно-договорных актов в сфере образования / Н. И. Цуканова, В. В. Александров, Н. В. Головкин, О. В. Шурыгина // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2023. – № 86. – С. 122-132. – DOI 10.21667/1995-4565-2023-86-122-132. – EDN EUQWIO.

УДК 004.7; ГРНТИ 49.38.49

ИНТЕГРАЦИЯ RFID-ТЕХНОЛОГИЙ С БЛОКЧЕЙНОМ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В ИИТ

О.А. Бодров, М.С. Поборуева

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, imerm01@yandex.ru

Аннотация. Интеграция RFID-технологий с блокчейном обеспечивает надежное и защищенное отслеживание объектов, повышая эффективность логистических процессов и управление цепочками поставок. Исследование рассматривает принципы взаимодействия этих технологий, механизмы криптозащиты и практические сценарии внедрения в различных отраслях, подчеркивая их вклад в повышение прозрачности и снижение рисков фальсификаций.

Ключевые слова: промышленный интернет вещей, RFID, датчики.

INTEGRATION OF RFID TECHNOLOGY WITH BLOCKCHAIN FOR IIOT OBJECT TRACKING

O.A. Bodrov, M.S. Poborueva

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, imerm01@yandex.ru

The summary. The integration of RFID technologies with blockchain provides reliable and secure tracking of objects, enhancing the efficiency of logistics processes and supply chain management. The study explores the principles of these technologies' interaction, cryptographic protection mechanisms, and practical implementation scenarios in various industries, highlighting their contributions to enhancing transparency and reducing fraud risks.

Keywords: industrial Internet of Things, RFID, sensors.

В ИИТ (промышленный интернет вещей) задача отслеживания материальных объектов и технологических единиц является одной из ключевых, поскольку от достоверности информации о местоположении и состоянии объектов напрямую зависит эффективность логистики, управление производственными процессами и уровень киберфизической безопасности.

На практике такие задачи традиционно решаются с использованием RFID-технологий, обеспечивающих автоматическую идентификацию объектов. Однако централизованные системы сбора и хранения RFID-данных обладают рядом существенных недостатков, включая уязвимость к подмене информации, отсутствие сквозной верификации событий и ограниченную прозрачность при взаимодействии между различными участниками промышленной цепочки [1].

В первую очередь такие решения характеризуются наличием единой точки отказа, что делает систему уязвимой к сбоям, несанкционированному доступу и преднамеренной подмене данных. Как отмечается в ряде исследований, централизованное хранилище не обеспечивает доказуемую неизменяемость истории перемещения объектов, что снижает уровень доверия между участниками цепочки поставок [2]. Кроме того, при масштабировании RFID-инфраструктуры возникают проблемы фрагментации и несогласованности данных, обусловленные использованием разнородных программных и аппаратных платформ. Существенным недостатком классических подходов также является перегрузка центральных серверов избыточными событиями считывания, на обработку которых необходимо дополнительное время. Это приводит к росту задержек обработки данных и снижению качества аналитики. Отдельное внимание в литературе уделяется вопросам информационной безопасности и конфиденциальности, поскольку централизованные системы хранения RFID-данных подвержены атакам на серверную инфраструктуру и соответствующим утечкам информации. Указанные ограничения обуславливают необходимость перехода к распределённым архитектурам хранения и обработки данных, обеспечивающим целостность, прослеживаемость и устойчивость функционирования систем отслеживания объектов в сетях ИИТ [3, 4].

В данной работе предлагается адаптивная модель интеграции RFID и блокчейна, ориентированная на промышленное применение.

RFID-метки размещены на отслеживаемых объектах и взаимодействуют со считывателями, подключёнными к IIoT-шлюзам. Шлюзы выполняют агрегацию данных, фильтрацию событий и формирование транзакций для распределённого реестра. Узлы блокчейна располагаются на уровне промышленной сети или облачной инфраструктуры и обеспечивают хранение неизменяемой истории событий. Управляющие и аналитические системы получают доступ к данным через доверенные интерфейсы.

Ключевой особенностью схемы является разделение уровней: RFID-устройства не участвуют в консенсусе и не выполняют криптографически тяжёлые операции, что принципиально важно для IIoT-среды.

В связи с этим в рамках работы предлагается математическая модель интеграции RFID-технологий с распределённым реестром на основе блокчейна, ориентированная на применение в гетерогенных сетях IIoT и учитывающая ограничения по вычислительным и энергетическим ресурсам устройств. Рассмотрим множество отслеживаемых объектов:

$$O = \{o_1, o_2, \dots, o_N\}, \quad (1)$$

где каждому объекту o_i сопоставляется уникальный RFID-идентификатор UID_i .

Состояние объекта в момент времени t описывается вектором:

$$s_i(t) = (l_i(t), \tau_i(t), a_i(t)), \quad (2)$$

где $l_i(t)$ – положение объекта в пределах промышленной инфраструктуры, $\tau_i(t)$ – временная метка события, $a_i(t)$ – набор атрибутов состояния (этап обработки, статус, параметры среды).

Каждое событие считывания RFID-метки формирует запись:

$$T_i(t) = (UID_i, s_i(t)), \quad (3)$$

которая далее преобразуется в транзакцию распределённого реестра с вычислением криптографического хэша:

$$h_i(t) = H(UID_i, s_i(t)), \quad (4)$$

где H – устойчивая хэш-функция.

Последовательность таких транзакций образует неизменяемую историю перемещения и состояния объекта, доступную для проверки всеми доверенными узлами системы.

Для RFID и IIoT устройств ключевым ограничением является энергопотребление, поэтому фиксация каждого события в блокчейне нецелесообразна. Введём суммарную функцию энергозатрат:

$$E = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{M_i} (E_{ik}^{scan} + E_{ik}^{tx} + E_{ik}^{hash}), \quad (5)$$

где M_i – число событий для объекта o_i ;

E_{ik}^{tx} – энергопотребление при сканировании состояния объекта;

E_{ik}^{scan} – энергопотребление при преобразовании в текстовую информацию информацию полученных данных;

E_{ik}^{hash} – энергопотребление при сохранении состояния объекта в хэш-память.

Задача интеграции RFID и блокчейна формулируется как задача минимизации энергопотребления в контексте отслеживания объектов в цепочках поставок

$$E \rightarrow \min$$

при ограничениях:

$$\begin{cases} P_{loss} \leq P_{max} \\ I_{track} \geq I_{min} \end{cases}, \quad (6)$$

где P_{loss} – вероятность потери информации об объекте, I_{track} – показатель полноты отслеживания, P_{max} , I_{min} – допустимые пороговые значения.

Для выполнения этих условий вводится адаптивное правило записи, согласно которому транзакция фиксируется в распределённом реестре только при выполнении условия:

$$\|s_i(t) - s_i(t - \Delta t)\| > \varepsilon, \quad (7)$$

где ε – порог значимости изменения состояния объекта.

Такой подход позволяет сократить число транзакций без потери информативности отслеживания.

На основе предложенной модели реализуются следующие алгоритмические шаги:

- считывание RFID-метки и формирование текущего состояния объекта;
- сравнение состояния с предыдущим зафиксированным значением;
- проверка условия значимости изменения; агрегация данных на IoT-шлюзе;
- формирование хэша и транзакции;
- запись транзакции в блокчейн и обновление истории объекта.

Алгоритм имеет линейную вычислительную сложность по числу событий и может быть реализован на IoT-шлюзах без привлечения вычислительно тяжёлых механизмов на уровне устройств (рис.1).

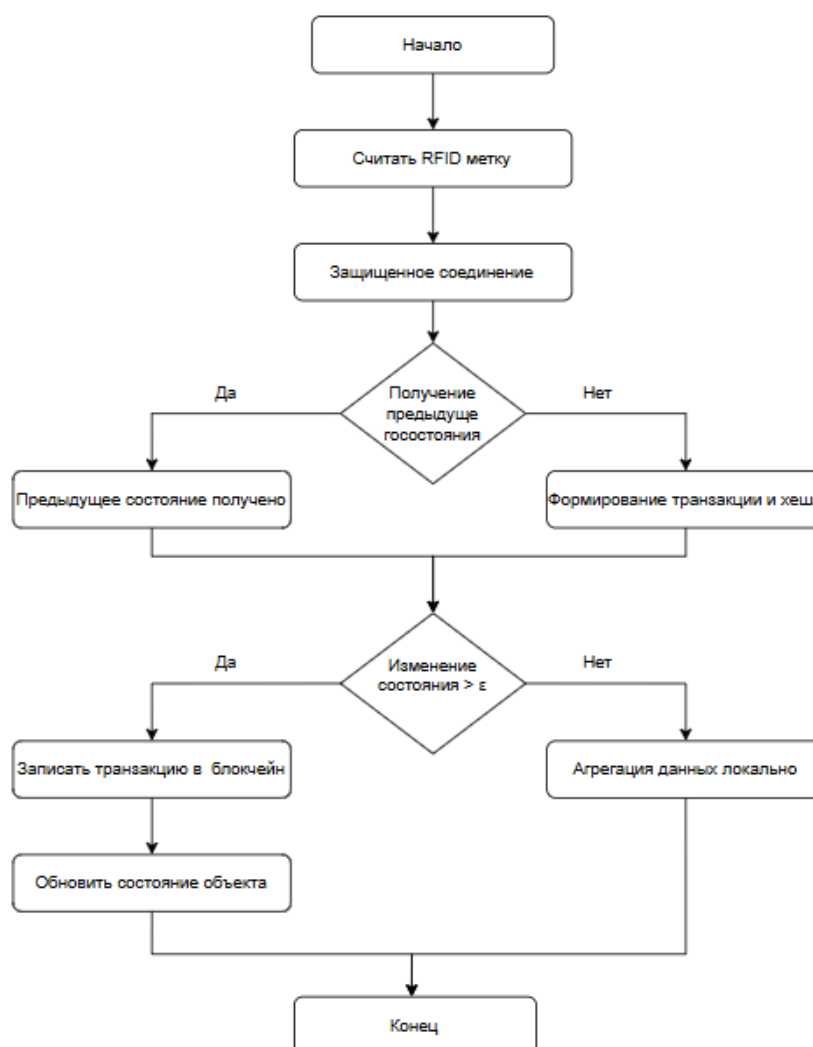


Рис. 1. Схема алгоритма интеграции RFID с блокчейном

Интеграция RFID с блокчейном обеспечивает не только прозрачность логистических процессов, но и повышение уровня киберфизической безопасности. Неизменяемость распределённого реестра исключает возможность скрытой подмены данных о перемещении объек-

тов, а временная привязка событий позволяет выявлять аномалии, такие как несанкционированные перемещения или несоответствие технологических этапов.

На основе предложенной модели разработано программное обеспечение, показавшее, что совместное применение RFID и блокчейна позволяет обеспечить точность отслеживания до 99 % при энергозатратах, не превышающих 5 Вт, и делает её применимой для реальных IoT-систем.

Библиографический список

1. В. Бельский, Е. Грибоедова, К. Царегородцев, А. Чичаева Безопасность RFID-систем International Journal of Open Information Technologies. – Т. 9, №. 9, 2021. – С.1-20. – ISSN: 2307-8162.
2. Иванов С.В. Криптографические методы защиты информации в компьютерных системах и сетях. М: КУ-ДИЦ-ОБРАЗ, 2001. – 368 с. – ISBN 5-93378-021-9.
4. Математическое и компьютерное моделирование процессов планирования и распределения разнородных ресурсов в промышленных сетях, Д. А. Перепелкин, Вестник РГРТУ. 2021, № 77
5. Модели и технологии построения защищенных сетей Интернета вещей, С. А. Лесько, Д. О. Жуков, П. Ю. Пушкин, Вестник РГРТУ. 2022, № 72

УДК 621.396.96:004.8; ГРНТИ 47.47.17

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КЛАССИЧЕСКИХ И НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ СЕЛЕКЦИИ ЦЕЛЕЙ НА R-V КАРТАХ

О.А. Бодров, Т.П. Рихард

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, rikhardatyana@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена повышению достоверности обнаружения и сопровождения объектов в радиолокационных системах. Выполнен сравнительный анализ традиционных статистических методов селекции сигналов на дальностно-скоростных (R-V) картах и подходов, базирующихся на глубоком обучении. Описана математическая модель формирования входных данных и предложена структура интеллектуального селектора на базе сверточной нейронной сети. Приведены результаты интеграции нейросетевого модуля в контур сопровождения с использованием фильтра Калмана.

Ключевые слова: радиолокация, R-V карта, селекция целей, нейронные сети, фильтр Калмана, цифровая обработка сигналов, вероятность ложной тревоги.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CLASSICAL AND NEURAL NETWORK METHODS FOR TARGET SELECTION ON R-V MAPS

O.A. Bodrov, T.P. Richard

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, rikhardatyana@yandex.ru

Abstract. The article considers the urgent task of increasing the reliability of object detection and tracking in radar systems. A comparative analysis of traditional statistical methods of signal selection on range-speed (R-V) maps and modern approaches based on deep learning is carried out. A mathematical model of input data formation is described and the structure of an intelligent selector based on a convolutional neural network is proposed. The results of the integration of the neural network module into the tracking loop using the Kalman filter are presented.

Keywords: radar, R-V map, target selection, neural networks, Kalman filter, digital signal processing, false alarm probability.

Условия эксплуатации современных радиолокационных систем (РЛС) характеризуются высокой плотностью помех, наличием отражений от подстилающей поверхности и активным применением средств радиоэлектронной борьбы. В таких условиях классические методы обработки первичных сигналов, основанные на фиксированных порогах обнаружения, часто демонстрируют недостаточную эффективность, что приводит к отсутствию целей с

малым сечением рассеяния или аномально высоким показателям ложных срабатываний. Перспективным направлением развития РЛС является переход к интеллектуальной обработке дальностно-скоростных (Range-Velocity) карт, которые позволяют разделять цели не только по пространственному положению, но и по вектору радиальной скорости.

Математическая модель формирования R-V карты

Формирование карты скоростей на большие расстояния основано на измерении двух физических параметров отраженного сигнала: временного сдвига и доплеровского сдвига частоты. Дальность действия цели определяется выражением:

$$R = \frac{c\tau}{2},$$

где c – скорость распространения электромагнитной волны, а τ – временное запаздывание эхо-сигнала относительно зондирующего импульса. Множитель $1/2$ учитывает двукратное прохождение сигнала по трассе «радиолокатор – цель – радиолокатор». Радиальная скорость цели определяется на основе доплеровского эффекта по формуле:

$$v_r = \frac{\lambda \Delta f}{2},$$

где λ – длина волны излучаемого сигнала, а Δf – доплеровский сдвиг частоты отражённого сигнала. Таким образом, каждая цель отображается в пространстве координат «дальность – радиальная скорость».

После выполнения двумерного спектрального анализа по задержке и доплеровской частоте формируется дальностно-скоростная карта, представляемая в виде вещественной неотрицательной матрицы

$$M \in \mathbb{R}_+^{N_r \times N_v},$$

где N_r – количество дальностных ячеек, N_v – количество доплеровских (скоростных) ячеек, M_{ij} – амплитуда (мощности) сигнала для i -й ячейки дальности и j -й ячейки скорости. Каждая цель отображается на карте в координатном пространстве «дальность – радиальная скорость», причём её энергетическое распределение может занимать несколько соседних ячеек.

Классические методы селекции целей

Рассмотрим классический подход к селекции целей. Он основан на анализе амплитудных значений элементов матрицы M_{ij} и их сравнении с адаптивным порогом. Наиболее распространённой группой методов являются алгоритмы CFAR (Constant False Alarm Rate), обеспечивающие поддержание постоянной вероятности ложной тревоги.

Принцип работы данных алгоритмов состоит в том, что для каждой проверяемой ячейки дальностно-скоростной карты оценивается уровень фонового сигнала в окружающих элементах. На основании полученных данных (оценки) формируется порог, с которым сравнивается амплитуда M_{ij} . Превышение порогового значения интерпретируется как обнаружение цели.

Эффективность CFAR-алгоритмов высока в условиях однородного гауссовского шума, поскольку они обладают низкой вычислительной сложностью, легко реализуются аппаратно и обеспечивают предсказуемость поведения системы.

Однако энергетическая зависимость $P_r \propto 1/R^4$ приводит к тому, что при увеличении дальности отношение сигнал/шум снижается, и слабые цели могут не превышать порог обнаружения. Помимо этого, при наличии пространственно неоднородных помех, протяжённых отражающих объектов или сближенных целей нарушается статистическая однородность фона, что вызывает либо рост ложных срабатываний, либо пропуск реальных целей. Ограничение классических методов связано с тем, что анализ выполняется преимущественно по амплитудному критерию без учёта пространственной структуры распределения энергии на R-V карте.

Нейросетевые методы селекции

Развитие методов машинного обучения привело к применению сверточных нейронных сетей (CNN) для обработки радиолокационных данных. При таком подходе R-V карта рассматривается как двумерное изображение, где операция свертки позволяет идентифицировать локальные корреляции между соседними ячейками карты и генерировать устойчивые признаки отражений:

$$Y_{i,j}^k = \sigma(\sum_{m=1}^{K_r} \sum_{n=1}^{K_v} W_{m,n}^k \cdot X_{i+m,j+n} + b^k),$$

где $W_{m,n}^k$ – весовые коэффициенты k-го сверточного фильтра, определяющие вклад соответствующих элементов входной матрицы, K_r и K_v – размеры области локального анализа по дальности и скорости, b^k – смещение, а σ – нелинейная функция активации, ограничивающая диапазон выходных значений.

В отличие от порогового сравнения отдельного элемента M_{ij} , операция свертки учитывает все соседние ячейки, что позволяет идентифицировать стабильные пространственные конфигурации отражений, специфичных для цели. Даже в тех случаях, когда абсолютное значение амплитуды близко к уровню фона, пространственная структура распределения энергии может содержать признаки, несущие необходимую информацию.

Выход нейросетевого блока формируется в виде вектора оценок координат цели:

$$y_{out} = [\hat{R}, \hat{v}_r]^T,$$

где \hat{R} – оценка дальности до обнаруженного объекта, \hat{v}_r – оценка радиальной скорости объекта. Полученные оценки координат используются в качестве измерений z_k и поступают на вход алгоритма сопровождения, реализуемого на основе фильтра Калмана.

Динамика движения может описываться моделью постоянной скорости:

$$x_k = [R_k, v_{r_k}]^T,$$

с уравнением состояния

$$\begin{bmatrix} R_{k+1} \\ v_{r_{k+1}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_k \\ v_{r_k} \end{bmatrix} + w_k,$$

где w – вектор случайных возмущений.

Модель нейронной сети формирует набор характеристик, которые позволяют различать колебания шума и отражения от реальных объектов. Интеграция нейросетевого селектора с фильтром Калмана обеспечивает сглаживание шумов измерений и формирование прогноза состояния цели. Таким образом, выбор осуществляется не только по силе сигнала, но и по его пространственной организации на карте R-V.

Сравнительный анализ

Классические и нейросетевые методы селекции основываются на различных принципах обработки. Так, классические алгоритмы опираются на локальный статистический анализ амплитудных значений M_{ij} и характеризуются вычислительной простотой и высокой скоростью работы. Кроме того, их поведение хорошо интерпретируется и предсказуемо при стабильных условиях функционирования.

Нейросетевые методы осуществляют многопараметрическое нелинейное преобразование матрицы M , учитывая пространственные взаимосвязи между элементами. Именно это и обеспечивает более высокую устойчивость к сложной помеховой обстановке и лучшую разделяемость сближенных целей.

Вместе с тем реализация нейросетевого подхода сопряжена с рядом ограничений: необходимостью формирования представительной обучающей выборки и высокой вычислительной сложностью алгоритмов.

Для количественной оценки эффективности рассмотрим вероятность обнаружения P_D , вероятность ложной тревоги P_{FA} , среднеквадратичную ошибку оценки дальности σ_R и среднее время обработки одного кадра T_{proc} .

Таблица 1. Количественное сравнение методов селекции

Показатель	CFAR	Нейросетевая модель	Комбинированный подход
вероятность ложной тревоги P_{FA}	10^{-4}	$1.3 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}
вероятность обнаружения P_D (SNR = 10 дБ)	0.94	0.97	0,98
вероятность обнаружения P_D (SNR = 0 дБ)	0.62	0.85	0,90
среднеквадратичную ошибку оценки дальности σ_R	18м	11м	9 м
Характерный размер строка сопровождения	42м	30м	27 м
Среднее время обработки одного кадра T_{proc}	4мс	22мс	9 мс

Анализ данных таблицы показывает, что при высоком отношении сигнал/шум (10 дБ) различие в вероятности обнаружения между методами незначительно. Однако при снижении SNR до 0 дБ, что соответствует увеличению дальности и уменьшению мощности отражения согласно закону $P_r \propto 1/R^4$, вероятность обнаружения классического алгоритма уменьшается до 0,62, тогда как нейросетевая модель сохраняет значение порядка 0,85.

Среднеквадратичная ошибка оценки дальности для нейросетевого метода уменьшается примерно на 40 % по сравнению с CFAR (18 м против 11 м), что приводит к сокращению характерного размера строка сопровождения с 42 м до 30 м. В комбинированной архитектуре достигается дальнейшее уменьшение ошибки до 9 м и сужение строка до 27 м.

При этом вычислительная сложность нейросетевого подхода выше: время обработки одного кадра возрастает более чем в пять раз по сравнению с CFAR. Комбинированный вариант позволяет частично компенсировать этот рост, обеспечивая баланс между быстродействием и качеством селекции.

Обобщая полученные результаты, можно заключить, что классические методы эффективны при высоком SNR и ограниченных вычислительных ресурсах, нейросетевые методы обеспечивают значительный прирост вероятности обнаружения и точности при низком SNR, а наилучшее соотношение статистической эффективности и быстродействия достигается при их совместном применении.

Выводы

Результаты анализа классических и нейросетевых методов селекции целей на R-V картах демонстрируют, что алгоритмы CFAR обеспечивают управляемую вероятность ложной тревоги и высокое быстродействие, однако их эффективность снижается при неоднородных помехах и низком отношении сигнал/шум.

Нейросетевой подход, основанный на учёте пространственной структуры R-V карты и интеграции с фильтром Калмана, повышает устойчивость селекции и точность оценки координат цели в сложной помеховой обстановке.

Наиболее перспективным направлением является комбинированная архитектура обработки, объединяющая в себе вычислительную эффективность классических алгоритмов и адаптивность нейросетевых моделей.

Библиографический список

1. Richards M. A. *Fundamentals of Radar Signal Processing*. – 2nd ed. – New York: McGraw-Hill Education, 2014. – 936 p.
2. Ширман Я. Д. *Радиоэлектронные системы: основы построения и теория*. – М.: Современная электроника, 2010. – 512 с.

3. Ненашев В. А., Ненашев С. А. Классификация и распознавание наземных объектов в потоке радиолокационных кадров на основе нейросетевого подхода в передней зоне обзора бортовых РЛС многопозиционной системы // *Computer Vision GraphiCon 2023: Proceedings of the International Conference*. – Moscow, Russia, 19–21 September 2023. – С. 572–578.
4. Костров Б.В., Конкин А.А. Разработка методики расчёта ослабления радиосигнала при прохождении различных сред // Выпуск 87: Сборник научных трудов / РГРТУ. – Рязань, 2024. – С. 15–20.
5. Богословский А. В. Аналитические методы синтеза антенных решеток мобильных радиотехнических комплексов // Выпуск 87: Сборник научных трудов / РГРТУ. – Рязань, 2024. – С. 21–26.
6. Сафонова А.В., Мартынов В.И. Алгоритм адаптивной аппроксимации радиолокационного изображения цели // Выпуск 87: Сборник научных трудов / РГРТУ. – Рязань, 2024. – С. 45–50.

УДК 004.91; ГРНТИ 50.41.25

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ОБЩЕЖИТИЯ ВУЗА

Е.А. Кулаков, О.А. Бодров, И.В. Бодрова

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, kea19022004@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассматриваются вопросы проектирования и реализации механизмов учета в информационной системе на платформе «1С:Предприятие 8.3», предназначенной для автоматизации административно-хозяйственной деятельности в общежитии. Описана структура метаданных жилого фонда и алгоритмы сопоставления данных, позволяющие осуществлять мониторинг вакантных мест в реальном времени. Предложенное решение обладает высокой степенью универсальности и может быть адаптировано для различных объектов коллективного проживания.

Ключевые слова: автоматизация управления, информационные системы, административно-хозяйственная деятельность, жилой фонд, система компоновки данных.

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR MANAGING THE ACTIVITIES OF THE UNIVERSITY DORMITORY

E.A. Kulakov, O.A. Bodrov, I.V. Bodrova

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, kea19022004@mail.ru

The summary. This paper discusses the design and implementation of accounting mechanisms in an information system based on the "1С:Enterprise 8.3" platform, designed for automation of administrative and economic activities in universities. The housing stock metadata structure and data comparison algorithms are described, allowing for real-time monitoring of vacant places. The proposed solution is highly versatile and can be adapted for various collective housing facilities.

Keywords: control automation, information systems, administrative and economic activities, housing stock, data layout system.

Эффективное управление современной университетской средой, особенно в части управления студенческим жильем, требует применения специализированных программных решений. Этот аспект, отличающийся постоянными изменениями данных о проживающих, нуждается в автоматизации административно-хозяйственной деятельности. Отсутствие автоматизированных систем приводит к фрагментации данных, затрудняет анализ использования ресурсов и ведет к возникновению ошибок при распределении мест. Отсюда вытекает насущная потребность в создании ясной, точной и оперативной системы управления номерным фондом, интегрированной в единую платформу [1,2].

Для решения поставленной задачи была использована платформа «1С:Предприятие 8.3» [3]. Выбор объясняется ее исключительной гибкостью в объектном моделировании и мощным инструментарием для работы с базами данных. Это позволяет быстро создать систему ресурсного менеджмента и формировать отчеты в реальном времени. В основе системы

лежит структура метаданных, основанная на взаимодействии ключевых прикладных объектов [4]. Центральное место занимает справочник «Комнаты», служащий перечнем жилого фонда. В отличие от традиционных методов учета, предложенная структура (рис. 1) позволяет детально учитывать каждую единицу жилья, включая «Количество мест», обеспечивая точный контроль вместимости помещений и анализ загрузки жилого фонда.

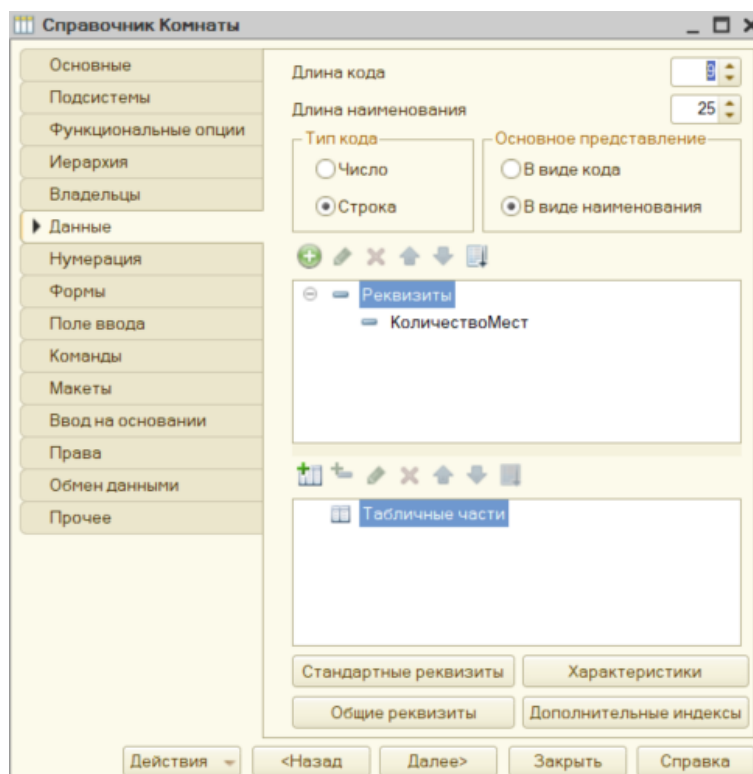


Рис. 1. Структура метаданных справочника «Комнаты» в среде разработки

Программная реализация построена на использовании прикладных объектов типа «Справочник». Для обеспечения целостности данных внедрены механизмы программной проверки корректности вводимых данных. Интерфейс системы оснащен взаимосвязанными фильтрами, которые ограничивают пользователя логически допустимыми вариантами, минимизируя ошибки и упрощая работу администратора. Объекты связаны посредством ссылочных типов данных, что обеспечивает надежную привязку информации о проживающих к записям в справочнике «Комнаты», ускоряя навигацию по структуре жилого фонда.

Основной функциональный модуль для генерации отчетности реализован в рамках подсистемы, использующей механизмы системы компоновки данных (СКД) [5]. Она динамически вычисляет количество свободных мест, сопоставляя проектную вместимость с фактическим количеством проживающих. Запрос СКД объединяет данные о жилом фонде и текущем заселении. Настройка взаимосвязей параметров запроса в конструкторе схемы компоновки данных представлена на рисунке 2.

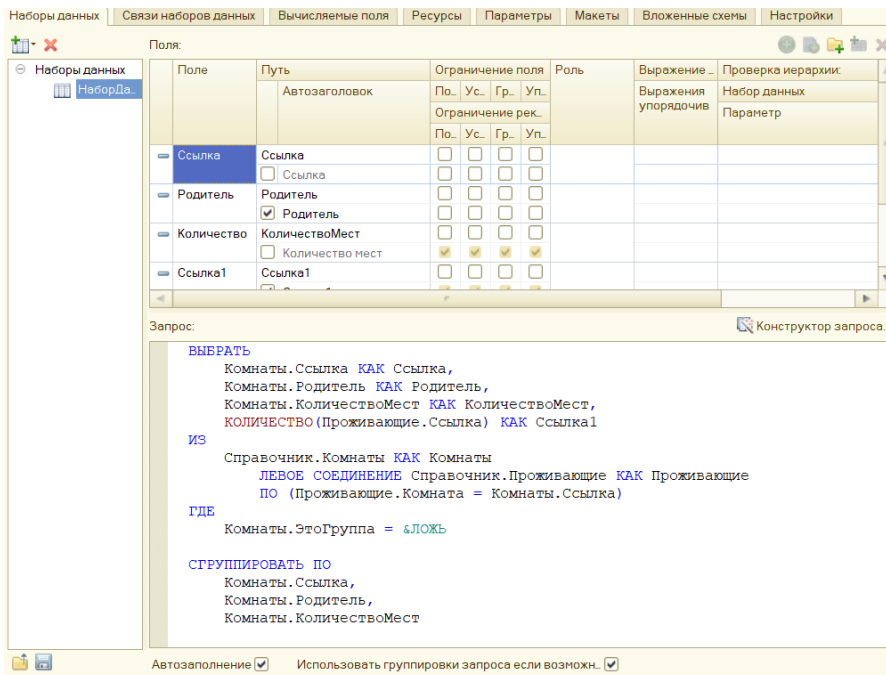


Рис. 2. Настройка схемы компоновки данных для анализа жилого фонда

Использование встроенного языка запросов позволяет группировать данные по блокам и этажам общежития, предоставляя администрации наглядную картину состояния жилого фонда. Гибкость настройки отчетов, адаптирующая их под нужды пользователя, позволяет регулировать уровень детализации. Визуализация аналитических данных, показывающая как нехватку, так и избыток мест, улучшает восприятие результатов. Пример визуализации аналитических данных в отчете приведен на рисунке 3.

← → ☆ **Свободные места**

Сформировать
Выбрать вариант...
Настройки...

	Номер комнаты	Количество мест	Занято мест	Свободно мест
[-]	1 блок	128	2	126
[-]	2 этаж	16	2	14
	121	2	2	2
	122	2		2
	123	2		2
	124	2		2
	125	2		2
	126	2		2
	127	2		2
	128	2		2
[-]	3 этаж	16		16
	131	2		2
	132	2		2

Рис. 3. Визуализация аналитических данных в отчете

По результатам разработки установлено, что объединение учетных механизмов в единой программной среде существенно сокращает время, затрачиваемое на поиск свободных мест и подготовку отчетности. Универсальность разработанных принципов позволяет адаптировать данную конфигурацию для автоматизации административно-хозяйственной деятельности в общежитиях, гостиничных комплексах и аналогичных учреждениях, снижая риски ошибок, связанных с человеческим фактором, и повышая эффективность административного управления [6].

Библиографический список

1. Бодров, О. А. Предметно-ориентированные экономические информационные системы: учебник для вузов / О. А. Бодров, Р. Е. Медведев. – М. : Горячая линия - Телеком, 2013. - 224 с.
2. Щенёва Ю.Б., Пылькин А.Н., Щенёв Е.С.. Модель многокритериального анализа данных для системы поддержки принятия решений // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. - 2025. - №94 - С. 124-138. – DOI: 10.21667/1995-4565-2025-94-124-138.
3. 1С:Предприятие 8.3. Руководство разработчика. – М. : ООО «1С-Паблишинг», 2023. - 915 с.
4. Орешков, В. И.; Цепулин, И. А. Модель данных на основе расширяемой структуры для информационных систем в условиях динамического внешнего окружения // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2020. - № 74. - С. 56-65. - DOI: 10.21667/1995-4565-2020-74-56-65.
5. Хрусталева, Е. Ю. Реализация отчетов в системе 1С:Предприятие 8.3. Система компоновки данных / Е. Ю. Хрусталева. - М. : 1С-Паблишинг, 2021.
6. Пылькин, А. Н.; Тишкина, В. В. Информационная система формирования управленческих решений по улучшению текущего состояния объекта управления // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. - 2025. - № 91. - С. 76-86. - DOI: 10.21667/1995-4565-2025-91-76-86.

УДК 004.93'1; ГРНТИ 28.23.15

КОНТУРНЫЕ СПЛАЙН-МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА МИМИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ ЭМОЦИЙ: ИНТЕРПРЕТИРУЕМЫЙ ПОДХОД К РАСПОЗНАВАНИЮ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

В.Е. Пасичняк²

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, kpcod@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы применения контурных сплайн-моделей для анализа мимических проявлений эмоций по изображениям лица. Проведен анализ существующих подходов к распознаванию эмоциональных состояний, выделены их преимущества и ограничения, особое внимание уделено проблеме интерпретируемости результатов. Сформулированы ключевые требования к разрабатываемому методу: инвариантность к аффинным преобразованиям, физическая обоснованность признаков и объяснимость принимаемых решений. Предложена методология построения геометрических признаков на основе аппроксимации контуров бровей, глаз и губ с помощью B-сплайнов, ключающих этапы детекции ключевых точек, формирования сплайн-кривых и вычисления производных характеристик (длина дуги, кривизна, площадь контура). Представлены математические формализации связи геометрических параметров с базовыми эмоциональными состояниями.

Ключевые слова: распознавание эмоций, мимический анализ, B-сплайны, контурные признаки, объяснимый искусственный интеллект, аффективные вычисления, система кодирования лицевых точек, СКЛид.

CONTOUR SPLINE MODELS FOR ANALYZING EMOTIONAL EXPRESSIONS: AN INTERPRETABLE APPROACH TO RECOGNIZING EMOTIONAL STATES

V.E. Pasichnyak

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, kpcod@mail.ru*

The summary. The paper discusses the application of contour spline models for the analysis of facial expressions of emotions based on facial images. It analyzes existing approaches to recognizing emotional states, highlighting their advantages and limitations, and focusing on the problem of interpretability of the results. The paper formulates key requirements for the proposed method, including invariance to affine transformations, physical validity of features, and explainability of decision-making. A methodology for constructing geometric features based on the approximation of the contours of the eyebrows, eyes, and lips using B-splines, which includes the stages of key

² Научный Руководитель Колесенков Александр Николаевич, д.т.н., профессор кафедры КТ

point detection, the formation of spline curves, and the calculation of derivative characteristics (arc length, curvature, and contour area). Mathematical formalizations of the relationship between geometric parameters and basic emotional states are presented.

Keywords: emotion recognition, facial analysis, B-splines, contour features, explainable artificial intelligence, affective computing, facial action coding system, FACS.

Область аффективных вычислений ставит своей целью создание технологий, способных распознавать, интерпретировать и адекватно реагировать на эмоциональные проявления человека [1]. Выражение лица является ключевым, эволюционно обусловленным каналом передачи эмоциональной информации [2]. Как показано в классических работах П. Экмана, базовые эмоции имеют универсальные мимические паттерны, формализованные в системе кодирования лицевых движений (СКЛиД) через комбинации единиц действия.

Доминирующее положение в задачах распознавания выражения лица в настоящее время занимают методы глубокого обучения, в особенности сверточные нейронные сети (CNN) [3]. Их высокая точность достигается благодаря способности автоматически извлекать сложные иерархические признаки из больших массивов данных. Однако эта эффективность имеет обратную сторону: модели глубокого обучения непрозрачны для понимания, что критично для областей, требующих верификации и объяснения решений (клиническая диагностика, образование, юридическая практика) [4]. Кроме того, CNN требовательны к объему и качеству размеченных данных и подвержены риску переобучения, особенно при работе со сложными или смешанными эмоциями, для которых отсутствуют четкие универсальные паттерны [5].

Альтернативой «черным ящикам» выступают геометрические подходы, оперирующие взаимным расположением ключевых точек лица [6]. Однако использование простых метрик, таких как евклидовы расстояния или углы, приводит к потере информации о форме контуров и микродвижениях, что снижает их различительную способность.

Метод распознавания эмоций состоит из следующих этапов: детекция лица, выделение ключевых точек, аппроксимация контуров сплайнами, вычисление геометрических признаков и классификация.

На вход подается цифровое изображение лица. Далее происходит детекция лица и выделение 68 ключевых точек при помощи библиотеки dlib с предобученной моделью `shape_predictor_68_face_landmarks.dat` [7]. Полученные точки разделяются на анатомические зоны: брови, глаза, внешний и внутренний контуры губ.

Для перехода к непрерывному представлению каждый набор точек аппроксимируется параметрической кривой с использованием равномерного кубического -сплайна [8]. Кривая $p(u)$ определяется как:

$$p(u) = \sum_{i=0}^m B_{i,3}(u)P_i$$

где P_i – опорные точки;

$B_{i,3}(u)$ – кубические базисные функции;

$p(u)$ – параметрическая кривая (вектор функция), описывающая контур.

Базисные функции $B_{i,3}(u)$ вычисляются по формуле Кокса – де Бура [9]. Использование В-сплайнов для моделирования биологических объектов позволяет получить гладкие кривые, проходящие вблизи опорных точек, при этом каждая базисная функция отлична от нуля только на интервале в несколько узлов, что существенно упрощает вычисления. Базисные функции определяются рекурсивно:

$$B_{k,0}(u) = \begin{cases} 1, & \text{если } u_k \leq u \leq u_{k+1} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

$$B_{k,d}(u) = \frac{u - u_k}{u_{k+1} - u_k} B_{k,d-1}(u) + \frac{u_{k+1} - u}{u_{k+d-1} - u_{k+1}} B_{k+1,d-1}(u)$$

где $B_{k,d}(u)$ – базисная функция степени d для k -го узла;
 u_k – k -й узел сплайна (значение параметра в узловой точке);
 d – степень сплайна.

Для каждой зоны вычисляются признаки инвариантные масштабу к повороту:

- Нормированная длина дуги: длина контура, нормированная на межзрачковое расстояние.
- Средняя кривизна K : вычисляет среднее значение локальной кривизны вдоль контура. Кривизна позволяет количественно оценить степень изгиба. Локальная кривизна определяется по формуле:

$$k(u) = \frac{|x'(u)y''(u) - y'(u)x''(u)|}{(x'(u)^2 + y'(u)^2)^{3/2}}$$

где $k(u)$ – локальная кривизна в точке с параметром u ;
 $x'(u), y'(u)$ – первые производные по параметру u ;
 $x''(u), y''(u)$ – вторые производные по параметру u .

Для численного вычисления производных могут быть использованы приближенные формулы.

$$z_x^*(x_k, y_k) \approx \frac{z_{k+1} - z_{k-1}}{x_{k+1} - x_{k-1}}, \quad z_y^*(x_k, y_k) \approx \frac{z_{k+1} - z_{k-1}}{y_{k+1} - y_{k-1}}$$

$$z_{xx}^*(x_k, y_k) \approx \frac{z_x^*(x_{k+1}, y_k) - z_x^*(x_{k-1}, y_k)}{x_{k+1} - x_{k-1}}, \quad z_{yy}^*(x_k, y_k) \approx \frac{z_y^*(x_k, y_{k+1}) - z_y^*(x_k, y_{k-1})}{y_{k+1} - y_{k-1}}$$

где z_x^*, z_y^* – приближенные значения частных производных функции $z(x, y)$ по x и y ;
 z_{xx}^*, z_{yy}^* – приближенные значения вторых производных;
 x_k, y_k – координаты k -й точки дискретной сетки;
 z_k – значение функции в точке (x_k, y_k) .

Таким образом каждое изображение представляется вектором признаков F .

Каждой базовой эмоции ставится в соответствие характерный паттерн изменения вектора F , что позволяет интерпретировать результат классификации.

Радость: Характеризуется подъемом уголков рта, что отражается в увеличении кривизны верхней губы и длины контура рта, а также незначительным сужением глаз.

$$K_{\text{губ}} \uparrow, L_{\text{рта}} \uparrow, S_{\text{глаз}} \downarrow$$

Грусть: Проявляется в опущении уголков рта, что приводит к уменьшению кривизны губ и росту асимметрии, а также некотором раскрытии глаз.

$$K_{\text{губ}} \downarrow, A_{\text{рта}} \uparrow, S_{\text{глаз}} \uparrow$$

Гнев: Выражается в сжатии губ, сближении и опускании бровей, прищуре глаз.

$$L_{\text{губ}} \downarrow, K_{\text{бровей}} \uparrow, S_{\text{глаз}} \downarrow$$

Удивление: Связано с резким подъемом бровей, максимальным раскрытием глаз и округлением рта.

$$A \downarrow, K_{\text{рта}} \uparrow, S_{\text{глаз}} \uparrow\uparrow$$

Отвращение: Проявляется в ассиметричном поднятии губ, смещении контуров рта, а также в частичном сужении глаз.

$$A_{\text{губ}} \uparrow, K_{\text{локал}} \uparrow, S_{\text{глаз}} \downarrow$$

Страх: Выражается в приподнятых бровях, широком раскрытии глаз и растянутых губах.

$$L_{\text{рта}} \uparrow, K_{\text{бровей}} \uparrow, S_{\text{глаз}} \uparrow$$

Полученный вектор признаков подается на вход классификатора. Сравниваются два алгоритма: метод опорных векторов (SVM) с радиально базисной функцией ядра и многослойный перцептрон (MLP) с одним скрытым слоем, содержащим 100 нейронов.

Сравнение результатов представлено в таблицах 1-3.

Таблица 1. Эффективность метода на датасете CK+.

Метод	Accuracy	F1-Score
Сплайн + SVM (предлагаемый)	0.87	0.85
Сплайн + MLP (предлагаемый)	0.89	0.87
CNN (базовая)	0.93	0.92

Таблица 2. Эффективность метода на датасете JAFFE.

Метод	Accuracy	F1-Score
Сплайн + SVM (предлагаемый)	0.84	0.82
Сплайн + MLP (предлагаемый)	0.86	0.84
CNN (базовая)	0.91	0.90

Таблица 3. Эффективность метода на датасете FER-2013.

Метод	Accuracy	F1-Score
Сплайн + SVM (предлагаемый)	0.68	0.64
Сплайн + MLP (предлагаемый)	0.71	0.67
CNN (базовая)	0.74	0.72

Преимущества:

- **Интерпретируемость.** Каждая компонента вектора F имеет четкий физический смысл. Это позволяет не только классифицировать эмоцию, но и объяснить, за счет каких именно мимических изменений (например, из-за аномального изгиба бровей или изменения кривизны губ) было принято решение. Данное свойство выгодно отличает предложенный подход от нейросетевых методов и согласуется с принципами построения объяснимого искусственного интеллекта.

- **Вычислительная эффективность.** Метод не требует для обучения графических процессоров и больших корпусов данных, оставаясь эффективным на выборках в несколько сотен изображений. Время обработки одного изображения составляет в среднем 0.3 секунды на CPU, что на порядок меньше, чем время инференса CNN.

- **Инвариантность к аффинным преобразованиям.** Используемые признаки (нормированная длина, кривизна) устойчивы к изменению масштаба, повороту и смещению лица в кадре, что повышает робастность метода в реальных условиях.

Ограничения:

- **Зависимость от точности детекции.** Ошибки на этапе выделения landmarks критически сказываются на форме сплайна и, как следствие, на значениях признаков. Как отме-

чено в работе [6], для повышения точности детекции в сложных случаях может потребоваться ручная разметка опорных точек или использование специализированных алгоритмов.

- Игнорирование текстуры. Метод не учитывает информацию о поверхностных изменениях кожи (морщины, складки), которая важна для различения семантически близких эмоций, таких как гнев и отвращение. В работе [4] отмечается, что текстурные признаки могут быть критичны для распознавания сложных эмоциональных состояний.
- Чувствительность к окклюзиям. Наличие очков, маски или волос, закрывающих части контуров, делает корректное построение сплайна невозможным.

Выявленные ограничения определяют вектор дальнейших исследований. Наиболее перспективным представляется создание гибридных архитектур, в которых признаки, извлеченные из сплайн-моделей, используются для направления внимания сверточных нейросетей или в качестве дополнительного канала информации на этапе принятия решения [10]. Такой симбиоз позволит объединить устойчивость и точность глубокого обучения с прозрачностью геометрического анализа.

Библиографический список

1. Yin Y., Nabian M., Ostadabbas S. Facial Expression and Peripheral Physiology Fusion to Decode Individualized Affective Experience // Proceedings of Machine Learning Research - 2018, № 86 - С. 10-25.
2. Ekman P. An argument for basic emotions // Cognition & Emotion. – 1992, v.6. - pp. 169-200.
3. Mollahosseini A., Hasani B., Mahoor M.H. AffectNet: A Database for Facial Expression, Valence, and Arousal Computing in the Wild // IEEE Transactions on Affective Computing. - 2017, v.10 - № 1. - pp. 18-31.
4. Freire-Obregón D., Salas-Cáceres J., Lorenzo-Navarro J. et al. Modeling Cultural Bias in Facial Expression Recognition with Adaptive Agents // arXiv:2510.13557. - 2025.
5. Bhati V.S., Tiwari N., Chawla M. A feature semantic similarity comparison-based generalized deep learning classifier for emotion recognition from unseen occlusion-pose variation // Discover Computing. - 2026, v. 29. – 55 p.
6. Мельник О.В., Саблина В.А., Черненко А.Д. Распознавание микровыражений лица с использованием классификаторов на основе методов машинного обучения // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. - 2023, № 1(45). - С. 125-135.
7. King D.E. Dlib-ml: A Machine Learning Toolkit // Journal of Machine Learning Research. - 2009, v.10. - pp. 1755-1758.
8. Миненко А.С. Моделирование и информационные технологии при распознании лица человека по его мимическим изображениям // Проблемы искусственного интеллекта. – 2016, № 2(3). - С. 49-56.
9. De Boor C. A Practical Guide to Splines. Springer-Verlag, - 1978. - 392 p.
10. Chapariniya M., Vuillecard P., Odobez J.M. et al. Investigating Identity Signals in Conversational Facial Dynamics via Disentangled Expression Features // arXiv:2510.11223. - 2025.

УДК 519.254; ГРНТИ 89.57.35

МЕТОД АДАПТИВНОГО СЖАТИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА

И.И. Буторин

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, vauua2451@yandex.ru

Аннотация. Структурная и семантическая неоднородность аэрокосмических изображений делает традиционные алгоритмы сжатия неэффективными, приводя к неоправданно высокому битрейту или потере значимой информации. В статье предложено решение этой проблемы на основе гибридной адаптивно-факторной модели. Её ядром является предметно-ориентированный факторный базис, выступающий компактным дескриптором нормальных состояний наблюдаемой сцены. Адаптивность реализуется через сегментацию и анализ отклонения реальных данных от факторной модели, что позволяет перераспределять битовый бюджет от архивации стандартных паттернов к детальному сохранению аномалий. В результате достигается интеллектуальное, семантически осмысленное сжатие, критически

важное для систем дистанционного зондирования, передачи данных с космических аппаратов и автоматического мониторинга.

Ключевые слова: факторный анализ, метод главных компонент, PCA, адаптивное сжатие, дистанционное зондирование, аэрокосмические снимки.

METHOD OF ADAPTIVE COMPRESSION OF AEROSPACE IMAGES BASED ON FACTOR ANALYSIS

I.I. Butorin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, vanua2451@yandex.ru*

The summary. The structural and semantic heterogeneity of aerospace images renders traditional compression algorithms ineffective, leading to either unjustifiably high bitrates or the loss of critical information. This paper proposes a solution to this problem based on a hybrid adaptive-factor model. Its core is a domain-oriented factor basis, which serves as a compact descriptor of the normal states of the observed scene. Adaptivity is achieved through segmentation and analysis of the deviation of real data from the factor model, enabling the redistribution of the bit budget from archiving standard patterns to the detailed preservation of anomalies. The result is an intelligent, semantically meaningful compression method, which is critically important for remote sensing systems, data transmission from spacecraft, and automated monitoring.

Keywords: factor analysis, principal component method, PCA, adaptive compression, remote sensing, aerospace images.

Обработка и хранение аэрокосмических изображений представляет собой одну из наиболее ресурсоемких задач в современных системах дистанционного зондирования и спутникового мониторинга. Высокое пространственное и спектральное разрешение, необходимые для решения прикладных задач, приводят к формированию массивов данных колоссального объема. Традиционные алгоритмы сжатия изображений, такие как JPEG, JPEG2000 [1], они оперируют универсальными математическими моделями, основанными на общих психофизических допущениях о человеческом зрении или на общих статистических свойствах природных сцен. Однако аэрокосмические данные обладают высокой степенью структурной и семантической неоднородности: одно изображение может содержать и регулярные структуры, и сложные текстуры, и уникальные, но критически важные объекты. Применение единого уровня компрессии ко всему изображению неизбежно ведет либо к неоправданно высокому битрейту, либо к потере семантически значимой информации в ключевых фрагментах.

Преодоление этого фундаментального противоречия лежит на пути синергии двух перспективных методологических направлений: адаптивного сжатия, обеспечивающего гибкое, интеллектуальное распределение вычислительных и битовых ресурсов в пространственной области изображения, и факторного анализа, вскрывающего латентные, устойчивые структуры в наборах данных конкретной предметной области. Их интеграция формирует концептуальную основу для перехода от низкоуровневой компрессии пикселей к семантически ориентированному, контентно-зависимому сжатию информации. Данный доклад детально раскрывает концептуальные основы каждого направления, предлагает модель их интеграции и обсуждает практическую значимость для задач аэрокосмической индустрии.

Концептуальные основы адаптивного сжатия визуальных данных

Адаптивность в контексте компрессии изображений подразумевает динамическую, нелинейную настройку параметров кодирования в реальном времени, в соответствии с локальными пространственными, статистическими и, что наиболее важно, семантическими характеристиками визуального контента. В отличие от классических методов, использующих равномерную или заранее заданную стратегию распределения бит, адаптивный подход реа-

лизует избирательную стратегию управления битрейтом, где «важность» фрагмента изображения определяется его содержанием.

Ключевым механизмом, реализующим эту стратегию, выступает непрерывный многоуровневый анализ изображения [1]. Этот анализ включает в себя:

Текстурный анализ: Выявление областей с низкой частотной активностью и высокой пространственной изотропией. Такие области характеризуются минимальной информационной энтропией и могут быть подвергнуты максимально агрессивной компрессии с использованием простых моделей без видимой потери качества.

Структурный анализ: Обнаружение контуров, границ, линейных объектов. Эти элементы требуют более осторожного подхода, так как искажение границ приводит к существенным семантическим потерям и визуальным артефактам.

Семантический анализ: Выделение областей, которые априори считаются важными на основе внешней информации или простых детекторов. Например, выделение зон с аномальными значениями в тепловом или мультиспектральном канале может указывать на потенциальный объект интереса.

На основе этого анализа строится карта значимости, которая напрямую управляет процессом кодирования. Области, классифицированные как фон, кодируются с малым числом бит на пиксель.

Факторный анализ как инструмент семантической редукции данных

Факторный анализ представляет собой методологию выявления скрытых переменных, определяющих наблюдаемую структуру многомерных данных [4]. В контексте обработки изображений его применение позволяет осуществить переход от пространства пикселей к пространству семантических дескрипторов.

Математически процесс описывается моделью:

$$I = B + \sum_{i=0}^K \sum (w_i * F_i) + \varepsilon,$$

где: I – исходное изображение;
 B – базовый компонент;
 F_i – ортогональные факторные компоненты;
 w_i – весовые коэффициенты;
 ε – остаточная компонента.

Практической реализацией данной модели, наиболее пригодной для сжатия, является метод главных компонент [2]. PCA генерирует набор ортонормированных базисных векторов, которые направлены в сторону максимальной дисперсии данных. Первые несколько главных компонент несут в себе большую часть статистической, а зачастую и семантической информации. Таким образом, кодирование нового изображения сводится к:

- Вычитание среднего изображения.
- Вычисление коэффициентов w_i .
- Отбрасывание остаточной компоненты ε .

Это обеспечивает существенную редукцию избыточности данных, так как вместо всех пикселей необходимо хранить или передавать лишь K коэффициентов и номер выбранного базиса.

Определение оптимальной размерности факторного базиса является отдельной задачей, от решения которой напрямую зависит эффективность предлагаемого метода. С одной стороны, слишком малое число компонент не позволит адекватно описать даже типичные паттерны, что приведет к росту нормы остатка и, как следствие, к неоправданно частому использованию «аномального» режима кодирования. С другой стороны, избыточная размерность базиса приближает факторную модель к полному описанию всех возможных вариаций,

что снижает эффективность сжатия для канонических сегментов и увеличивает вычислительную сложность.

На практике выбор K осуществляется на этапе статической подготовки на основе анализа собственных значений ковариационной матрицы обучающей выборки. Для аэрокосмических изображений, характеризующихся высокой спектральной и пространственной избыточностью, часто достаточно существенно меньшего числа компонент. Экспериментальные исследования, проведенные на гиперспектральных данных [2], показывают, что первые 10–20 главных компонент могут описывать до 99 % всей энергии сигнала, что подтверждает высокий потенциал факторных моделей для задач компрессии данных дистанционного зондирования. Таким образом, предлагаемый подход опирается на классические методы снижения размерности, детально разработанные в теории компьютерной обработки изображений [3].

Интеграционная модель: синтез адаптивности и факторизации

Предлагаемая гибридная модель функционирует в два ключевых этапа: статической подготовки и динамической обработки.

Первый этап – статической обработки или формирования предметно-ориентированной факторной модели.

Данный этап выполняется однократно для заранее определенной предметной области. На основе представительной выборки аэрокосмических изображений конкретного региона проводится факторный анализ. В результате формируется два ключевых компонента.

Во-первых, это факторный базис домена. Он представляет собой набор наиболее значимых собственных изображений, которые кодируют типичные для данной области паттерны. Эти паттерны могут включать в себя текстуры леса, характерные формы полей или стандартные структуры городских кварталов.

Во-вторых, определяются статистические пороговые значения. На основе анализа остаточных компонент для всей обучающей выборки вычисляются нормативные уровни типичности. Изображение или его фрагмент, который хорошо приближается линейной комбинацией факторов домена, будет обладать малой нормой остатка.

Таким образом, этот подготовительный этап создает словарь визуальных понятий, специфичный для решаемой прикладной задачи.

Второй этап – динамической обработки или адаптивного кодирования на основе семантического анализа.

При поступлении нового изображения для сжатия запускается следующая процедура.

Первым шагом осуществляется сегментация на однородные регионы. Исходное изображение разбивается на блоки или сегменты. Важно отметить, что это разбиение может быть адаптивным, а не выполняться по жесткой регулярной сетке.

Следующим шагом является семантическая классификация через проекцию. Каждый полученный сегмент проецируется на предварительно сформированный факторный базис целевого домена. Для каждого сегмента вычисляются весовые коэффициенты и, что критически важно, норма остаточной компоненты.

На основе этих расчетов принимается адаптивное решение о стратегии кодирования.

Если норма остатка для сегмента ниже установленного порога, он идентифицируется как канонический для данного домена. Такой сегмент считается типичным. Он кодируется исключительно через набор факторных коэффициентов, что обеспечивает чрезвычайно высокую степень сжатия. Декодер, обладая знанием базиса домена, корректно восстановит этот сегмент по полученным коэффициентам.

Если же норма остатка высока, это указывает на уникальную или аномальную информацию в сегменте. Такой фрагмент не описывается стандартными паттернами домена. Для его обработки факторные коэффициенты либо не используются вовсе, либо применяются частично. Основная смысловая нагрузка, заключенная в сильной остаточной компоненте, об-

рабатывается специализированными, более щадящими алгоритмами. Битовый бюджет для кодирования таких областей целенаправленно увеличивается, чтобы сохранить максимальный уровень детализации.

Завершающим шагом является формирование итогового битового потока. Этот поток представляет собой комбинацию из заголовка с указанием используемого факторного базиса, а для каждого сегмента – метки его типа, соответствующих факторных коэффициентов или закодированных остаточных данных. Такая структура позволяет декодеру однозначно интерпретировать информацию и восстановить изображение с адаптивным качеством.

Практическая значимость и области применения

Дистанционное зондирование Земли: позволяет эффективно архивировать стандартные ландшафтные паттерны, акцентируя вычислительные ресурсы и битовый бюджет на участках с аномальной активностью. Это превращает архив из пассивного хранилища в инструмент для автоматического выделения изменений.

Планетарная астрономия и связь с аппаратами дистанционного зондирования Земли: при передаче данных с больших расстояний, где канал связи крайне ограничен, адаптивная модель позволяет передать в первую очередь уникальные научные данные, в то время как типичные изображения передаются в сверхсжатом факторном виде. Это радикально повышает научную отдачу на единицу переданного бита.

Мониторинг критической инфраструктуры: при регулярном наблюдении за одними и теми же объектами факторная модель быстро обучается на их «нормальное» состояние в различных условиях освещения и погоды. Любые структурные изменения будут закодированы как аномалии с высоким качеством, что упрощает автоматическое детектирование изменений и минимизирует ложные срабатывания от изменяющихся условий окружающей среды.

Помимо перечисленных областей, предложенная адаптивно-факторная модель может найти применение в задачах оперативного мониторинга чрезвычайных ситуаций. Рассмотрим сценарий возникновения лесного пожара. На ретроспективных снимках одной и той же местности факторный базис будет обучен на «нормальные». При поступлении нового снимка, содержащего область активного горения, данный фрагмент будет классифицирован как аномалия с высокой нормой остатка и закодирован с максимальным качеством. При этом дымовой шлейф, имеющий специфическую текстуру, также будет сохранен в деталях. На стороне приемного центра оператор или автоматическая система детектирования получит не только факт наличия пожара, но и высококачественное изображение его фронта, пригодное для оценки масштабов бедствия, при том, что общий объем переданных данных останется минимальным за счет сильного сжатия фоновых участков.

Важно также отметить вопросы вычислительной эффективности. Основные вычислительные затраты приходятся на этап проекции сегментов на факторный базис, который сводится к умножению матрицы признаков на матрицу базисных векторов. Данная операция хорошо распараллеливается и может быть эффективно реализована на графических процессорах или специализированных вычислителях бортовых систем космических аппаратов. Этап сегментации, в зависимости от требуемой точности, может быть выполнен как с использованием классических алгоритмов, так и с применением легковесных нейросетевых архитектур, что делает возможной реализацию предложенного подхода в системах жесткого реального времени.

Заключение

Интеграция адаптивных стратегий сжатия и аппарата факторного анализа формирует новый подход в обработке визуальной информации. Представленная модель преодолевает ограничения традиционных алгоритмов, реализуя новое распределение вычислительных ре-

сурсов. Дальнейшее развитие данного направления связано с внедрением нелинейных методов факторизации и глубокого обучения, что позволит создавать самообучающиеся системы адаптивной компрессии, способные к динамической оптимизации под конкретные классы визуальных данных.

Библиографический список

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – 4-е изд. – М.: Техносфера, - 2022, - 1104 с.
2. Минкин А. С., Николаева О. В., Руссков А. А. Сжатие гиперспектральных данных методом главных компонент // Компьютерная оптика. – 2021, - 235-244 с.
3. Сойфер В.А. Методы компьютерной обработки изображений. – М.: Физматлит, - 2003, - 784 с.
4. Дубровский, Л.И. Компьютерная обработка естественно-научных данных методами многомерной прикладной статистики // Дубровская Л.И., Князев Г.Б. – Томск: ТМЛ-Пресс, - 2011, - 118 с.

УДК 004.032.26; ГРНТИ 28.23.37

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СВЁРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ДЕФЕКТОВ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ НА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

О.А. Бодров, А.С. Рождественский

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань bodrov.o.a@rsreu.ru*

Аннотация. Для контроля состояния солнечных батарей космических аппаратов предлагается использовать глубокие свёрточные сети. Рассмотрены физические механизмы падения мощности фотоэлектрических модулей – от микротрещин до деградации контактов. Построена архитектура сети для бинарной классификации снимков на классы «defect» и «normal». Модель обучалась с функцией перекрёстной энтропии и оптимизатором Adam, качество оценивалось по ассигасу. Эксперименты показали, что методы компьютерного зрения действительно способны выявлять дефекты и могут быть встроены в бортовую диагностику.

Ключевые слова: свёрточная нейронная сеть, глубокое обучение, классификация изображений, солнечные панели, диагностика дефектов, космические аппараты.

SOFTWARE IMPLEMENTATION OF A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK FOR THE DIAGNOSTICS OF SOLAR PANELS ON SPACECRAFT

O.A. Bodrov, A.S. Rozhdestvensky

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan bodrov.o.a@rsreu.ru*

Abstract. This article addresses the pressing issue of automated solar panel inspection on spacecraft. Deep learning methods, which enable detection of hidden panel damage, were chosen as the primary flaw detection tool. The authors analyzed the physics of processes leading to module power loss due to microcracks and contact wear. The paper describes a unique architecture for a convolutional neural network trained to classify images as healthy or defective. The use of the Adam optimizer and cross-entropy function enabled high recognition accuracy. The practical significance of the work is confirmed by the test results, which open up opportunities for the implementation of computer vision systems in the diagnostic circuit of on-board systems.

Keywords: convolutional neural network, deep learning, image classification, solar panels, defect diagnostics, spacecraft.

Солнечные панели – ключевой элемент энергетики любого космического аппарата, и от их технического состояния и эксплуатационной надежности напрямую зависит автономность, общая жизнеспособность и успех выполнения целевой миссии. На орбите фотоэлектрические модули вынуждены функционировать в крайне жёстких, агрессивных условиях окружающей среды и постоянно находиться под воздействием таких деструктивных факто-

ров, как интенсивное ионизирующее излучение, жесткий ультрафиолетовый спектр, многократные резкие перепады температур при входе и выходе из тени Земли, а также постоянные вибрации и микроудары космических частиц. Всё это постепенно разрушает внутреннюю кристаллическую структуру кремниевых ячеек и нарушает целостность токопроводящих дорожек – со временем появляются микротрещины, неуклонно растёт последовательное сопротивление контактов, падает выходная мощность.

Снижение мощности легко представить через базовое соотношение

$$P = U \cdot I, \#(1)$$

где U - электрическое напряжение на выводах элемента, I - генерируемый им ток. Потери могут быть следствием как падения фототока, так и уменьшения выходного напряжения, причём на практике оба этих негативных эффекта часто накладываются друг на друга. Фототок находится в прямой зависимости и пропорционален эффективной рабочей площади фотоэлемента, воспринимающей световой поток:

$$I \propto A_{\text{eff}}. \#(2)$$

При этом дефекты эту площадь сокращают. Напряжение снижается за счёт роста последовательного сопротивления R_s :

$$U = U_{\text{ideal}} - I * R_s. \#(3)$$

Чем больше R_s , тем сильнее смещается точка максимальной мощности (MPP) и хуже работает панель. Классическая диодная модель описывает ток солнечного элемента

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{qu}{nkT}} - 1 \right), \#(4)$$

где I_{ph} - фототок, I_0 - ток насыщения, q - заряд электрона, n - коэффициент идеальности, k - постоянная Больцмана, T - температура. Дефекты одновременно уменьшают I_{ph} , увеличивают паразитные токи и способны вызывать локальный перегрев. При этом температурная зависимость напряжения становится отрицательной:

$$\frac{dU}{dT} < 0, \#(5)$$

Всё это ведёт к быстрому падению мощности и снижению надёжности энергосистемы, поэтому так важно уметь автоматически выявлять дефекты на ранних стадиях [1, 2, 3].

Для автоматического поиска повреждений предлагается использовать свёрточную нейронную сеть, которая по снимку панели относит его к одному из двух классов: «normal» или «defect» [3, 4].

Обучающая выборка задана множеством

$$D = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^N, \#(6)$$

где x_i - входное RGB-изображение размером 128×128 пикселей, $y_i \in \{0, 1\}$ - метка класса (0 - normal, 1 - defect), N - объём выборки.

$$f_{\theta}: x \rightarrow \hat{y}, \#(7)$$

где θ - параметры нейронной сети, \hat{y} - предсказанный класс.

Архитектура состоит из двух свёрточных слоёв с ядрами 3×3, функции активации ReLU, субдискретизации MaxPooling и двух полносвязных слоёв [4, 5]. Свёртка традиционно записывается как:

$$(F * K)(i, j) = \sum_m \sum_n F(i + m, j + n)K(m, n), \#(8)$$

где F - входная карта признаков, K - ядро свёртки. Данный механизм позволяет автоматически выделять характерные признаки дефектов: линии трещин, локальные затемнения и неоднородности текстуры, (i, j) – координаты пикселя на выходе, (m, n) - индексы внутри самого фильтра [5].

Сеть обучается минимизацией перекрёстной энтропии [4, 6].

$$L = \sum_{c=1}^2 y_c \log(p_c), \#(9)$$

где L – функция потерь, y_c – истинное значение, p_c - вероятность принадлежности к классу c , полученная после применения функции Softmax

$$p_c = \frac{(e^{z_c})}{(\sum_{k=1}^2 e^{z_k})}, \#(10)$$

где p_c - вероятность того, что входные данные относятся к классу c , z_c - выход нейронной сети до нормализации.

Для настройки весов использовался оптимизатор Adam с шагом learning rate = 0,001 [4]. Качество классификации оценивалось по accuracy:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}, \#(11)$$

где TP - корректно обнаруженные дефекты, TN - корректно определённые исправные панели, FP - ложноположительные срабатывания, FN - пропущенные дефекты. В программной реализации метрика вычисляется как

$$Accuracy = \frac{N_{correct}}{N_{total}} * 100\%. \#(12)$$

Экспериментальное обучение длилось 20 эпох. Функция потерь демонстрировала стабильное монотонное снижение, а итоговая точность на валидационном подмножестве превысила 94%.

Выводы

Сравнительный анализ телеметрии и алгоритмов компьютерного зрения применительно к мониторингу фотоэлектрических систем космических аппаратов показал, что прямое отслеживание вольт-амперных параметров справляется лишь с фиксацией явных, уже произошедших отказов. На начальных же этапах деградации полупроводниковых структур, когда возникают первые изолированные микротрещины, чувствительность стандартных датчиков тока и напряжения оказывается недостаточной для раннего предупреждения аварийных ситуаций.

Внедрение свёрточных нейросетей, обученных распознавать текстурные аномалии и геометрические дефекты по снимкам панелей, решает эту проблему за счет высокой селективности. Модель уверенно локализует повреждения даже при сильном зашумлении входного сигнала, вызванном орбитальными бликами, неравномерной засветкой или падением теней от элементов конструкции самого спутника.

В качестве наиболее рационального подхода авторами видится создание гибридного диагностического контура. Сочетание непрерывного аппаратного съема телеметрических данных с периодическим нейросетевым сканированием позволяет не перегружать бортовой вычислительный комплекс лишними вычислениями. При этом обеспечивается предельно высокая достоверность прогнозирования остаточного ресурса и гарантируется общая живучесть энергетического комплекса космического аппарата.

Библиографический список

1. Б. А. Алпатов, П. В. Бабаян, И. Е. Евтеев. Моделирование работы системы технического зрения со структурированным освещением // Вестник РГРТУ. – 2020. – № 71.
2. А. И. Новиков, Д. И. Устюков. Метод обнаружения объектов с дополнительным семантическим признаком // Вестник РГРТУ. – 2022 – № 79
3. С. В. Спицын, С. С. Румянцев Обнаружение дефектов керамических покрытий с использованием свёрточных нейронных сетей // Вестник РГРТУ. – 2025 – № 93
4. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – MIT Press, 2016.
5. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning // Nature. – 2015. – Vol. 521.
6. Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning. – Springer, 2006.

СЕКЦИЯ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИИ»

УДК 681.518; ГРНТИ 50.49

АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УЧЁТА ИЗДЕЛИЙ

А.А. Терешина, Е.В. Тинина

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, Российская Федерация, Рязань, terioshinaanya@yandex.ru

Аннотация. В данной работе рассмотрена автоматизированная информационная система учёта изделий как ключевой элемент цифровой трансформации производственных предприятий. Описаны основные требования к функциональности и качеству данных автоматизированных систем. Также был проведен сравнительный анализ существующих систем, определены области учёта изделий, основанные на их жизненном цикле. Анализ позволил выявить сильные и слабые стороны систем и обосновать необходимость выбора или разработки информационной системы, максимально соответствующей задачам конкретного предприятия.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, учёт изделий, жизненный цикл изделия, производственные процессы, ERP-системы, цифровизация производства.

AUTOMATED INFORMATION SYSTEM FOR PRODUCT ACCOUNTING AS A TOOL FOR DIGITALIZATION OF PRODUCTION PROCESSES

A.A. Tereshina, E.V. Tinina

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Russian Federation, Ryazan, terioshinaanya@yandex.ru

Annotation. In this paper, an automated product accounting information system is considered as a key element of the digital transformation of manufacturing enterprises. The basic requirements for the functionality and data quality of automated systems are described. A comparative analysis of existing systems was also carried out, and areas of accounting for products based on their life cycle were identified. The analysis made it possible to identify the strengths and weaknesses of the systems and justify the need to select or develop an information system that best suits the tasks of a particular enterprise.

Keywords: automated information system, product accounting, product life cycle, manufacturing processes, ERP systems, production digitalization.

Современные производственные предприятия функционируют в условиях роста номенклатуры изделий, усложнения технологических процессов и повышения требований к качеству и прослеживаемости продукции. В таких условиях ручные и частично автоматизированные методы учёта изделий становятся недостаточно эффективными и не обеспечивают необходимого уровня прозрачности и оперативности управления.

Автоматизированные информационные системы учёта изделий позволяют централизовать данные о материальных ресурсах, полуфабрикатах и готовой продукции, обеспечивая контроль за их движением и состоянием на всех этапах жизненного цикла. Актуальность разработки и внедрения таких систем обусловлена необходимостью сокращения трудозатрат, минимизации ошибок и повышения эффективности управленческих решений.

В рамках данной работы рассматривается анализ предметной области автоматизированной информационной системы учёта изделий, а также существующие программные решения, применяемые для автоматизации данных процессов.

Предметная область автоматизированной информационной системы учёта изделий охватывает совокупность процессов, связанных с движением и состоянием изделий на предприятии: от поступления материалов до отгрузки готовой продукции заказчику. Анализ дан-

ной области является основой для формирования требований к архитектуре и функциональности системы [1].

Ключевым объектом учёта является изделие, которое может представлять собой готовую продукцию, сборочную единицу или комплектующую деталь. Каждое изделие характеризуется уникальным идентификатором, набором атрибутов и текущим статусом. Особое значение имеет управление жизненным циклом изделия, включающим стадии проектирования, производства, испытаний, приёмки, эксплуатации, ремонта и утилизации [2].

В рамках предметной области также выделяются процессы управления материальными запасами, складскими операциями, заказами и производственными заданиями. Информационная система должна обеспечивать фиксацию поступлений, перемещений, списаний и возвратов, а также поддерживать планирование потребностей на основе производственных планов и текущих остатков.

Эффективность автоматизированной информационной системы учёта изделий напрямую зависит от качества обрабатываемых данных. К основным требованиям относятся единство идентификации изделий и операций, полнота и актуальность информации, а также её точность и согласованность.

С функциональной точки зрения система должна обеспечивать регистрацию изделий на всех этапах жизненного цикла, управление складскими операциями, учёт поставок и отгрузок, а также формирование аналитической и отчётной информации. Важным аспектом является разграничение прав доступа и обеспечение безопасности данных.

Эффективность работы системы зависит от удобства интерфейса и скорости доступа к нужной информации, что возможно обеспечить с помощью интуитивно понятных форм ввода и поиска, мониторинга состояния запасов, стандартных и гибко настраиваемых отчетов, консистентный дизайн и унифицированные правила ввода данных для минимизации ошибок.

Автоматизированная информационная система учёта изделий представляет собой системный инструмент объединения данных, процессов и людей для эффективного учёта изделий на протяжении всего жизненного цикла изделия. На основе требований к функциональности и интеграции возможно создание надежной, масштабируемой и безопасной информационной системы, удовлетворяющей текущие и перспективные потребности организации. Таким образом, эффективная система должна обладать гибкой архитектурой, обеспечивать безопасность данных, поддержку многопользовательской работы и интеграцию с другими корпоративными системами, например, ERP-система или бухгалтерский модуль.

На данный момент рынок программных решений представляет множество различных систем, предназначенных для автоматизации учёта изделий и управления производственными процессами. Среди отечественных систем широкое распространение получили решения на платформе 1С, а также специализированные системы, ориентированные на контроль материалов и складские операции. Зарубежные ERP-платформы, такие как SAP ERP и Oracle NetSuite, обеспечивают комплексное управление ресурсами предприятия и высокую масштабируемость.

Рассмотрим ряд российских систем.

Digital Q – российская система, позволяющая вести учёт производственных материалов с возможностью классификации и прикрепления вспомогательных документов. Она оптимизирует закупки и контроль запасов, обеспечивая прозрачность использования ресурсов. Система позволяет легко отслеживать движение материалов, управлять их количеством и качеством, а также упрощает взаимодействие между различными подразделениями предприятия. На рисунке 1 показано интерфейсное окно программы Digital Q, где представлены основные функции системы. Пользователь может видеть текущие запасы, прикреплять документы, а также осуществлять поиск и фильтрацию по различным параметрам.

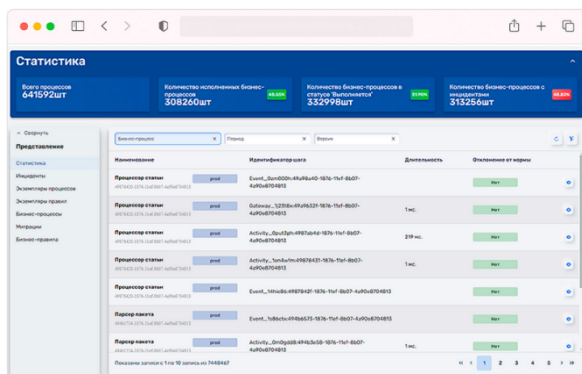


Рис. 1. Окно программы Digital Q

1С:ERP – одна из самых популярных ERP-систем в России, охватывающая управление финансами, производством и логистикой. Она позволяет формировать производственные планы, отслеживать заказы и контролировать затраты. На рисунке 2 изображено окно программы 1С:ERP, где пользователю доступны различные модули для управления производственными процессами. Интерфейс включает в себя диспетчирование этапов, позволяющее быстро анализировать данные.

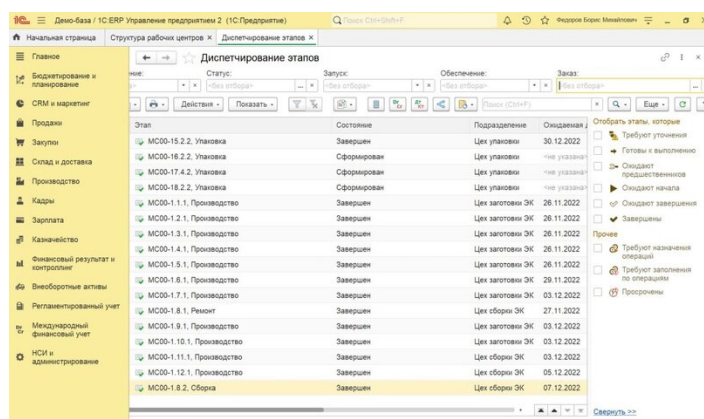


Рис. 2. Окно программы 1С:ERP

ФОБОС – система, разработанная для дискретного производства, обеспечивает контроль и оптимизацию материальных потоков, идеально подходит для предприятий с разнообразной номенклатурой изделий. Система позволяет эффективно управлять запасами и минимизировать затраты на производство. На рисунке 3 показано окно программы ФОБОС, где представлены ключевые функции системы, такие как управление материальными потоками и анализ производственных процессов. Интерфейс позволяет пользователю легко взаимодействовать с данными о запасах и производительности.

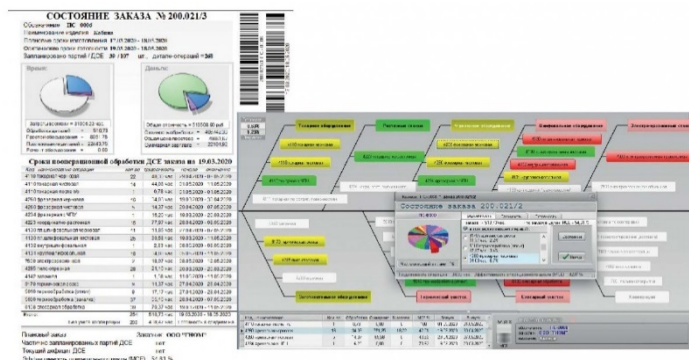


Рис. 3. Окно программы ФОБОС

SAP ERP – международная платформа для комплексного управления ресурсами предприятия, предлагающая широкий спектр функционала для оптимизации бизнес-процессов. Система позволяет интегрировать все аспекты бизнеса, включая финансы, производство, логистику и продажи. На рисунке 4 изображено окно программы SAP ERP, демонстрирующее различные модули системы. Пользователь может видеть обобщённые данные о бизнес-процессах, а также доступ к аналитическим инструментам для глубокого анализа эффективности работы предприятия.

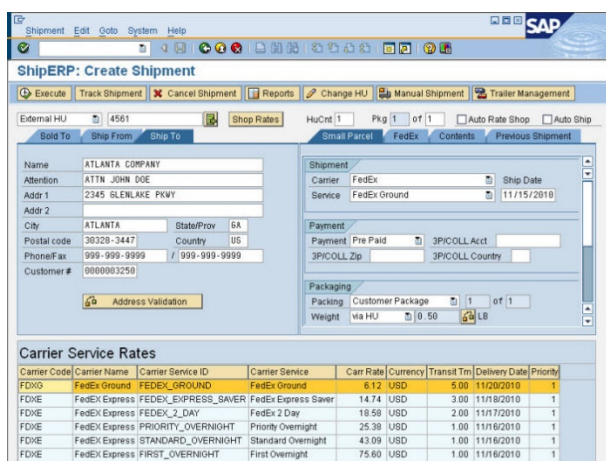


Рис. 4. Окно программы SAP ERP

Oracle NetSuite - облачная ERP-система, ориентированная на средние и крупные предприятия. Данная система поддерживает учёт материалов, контроль запасов, формирование заказов и аналитику производственных процессов. В зависимости от вида производства, можно выбирать дополнительные модули и функции. На рисунке 5 показано окно программы Oracle NetSuite, где представлены основные функции системы. Интерфейс включает в себя дашборды с ключевыми показателями производительности, что позволяет пользователям быстро оценивать состояние производственного комплекса и принимать решения на основе актуальных данных.

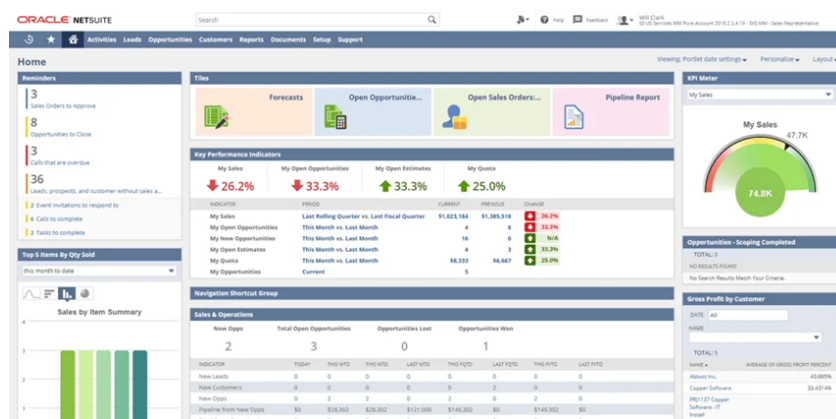


Рис. 5. Окно программы Oracle NetSuite

Выбор конкретной системы зависит от масштабов предприятия, сложности производственных процессов и требований к локализации и интеграции с другими информационными системами [3]. Для малых и средних предприятий актуальны решения с быстрым внедрением и умеренной стоимостью, тогда как крупные производственные комплексы ориентируются на функционально насыщенные и масштабируемые ERP-системы.

Проведём комплексное сравнение рассмотренных систем на основе следующих параметров: функционал, эффективность, гибкость, простота в применении, стоимость и применение. Данные сравнения приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение российских систем автоматизированного учёта изделий

Наименование системы	Функционал	Эффективность	Гибкость	Простота в применении	Стоимость	Применение
Digital Q	Учёт материалов, контроль запасов, прикрепление документов	Высокая для малых предприятий	Средняя, подходит для ограниченных сценариев	Интуитивно понятный интерфейс	Низкая	Небольшие компании и стартапы
1C:ERP	Управление финансами, производством, логистикой, CRM	Высокая для средних и крупных компаний	Высокая, возможность настройки под конкретные бизнес-процессы	Сложный интерфейс, требует обучения	Средняя	Средние и крупные предприятия с комплексными потребностями
ФОБОС	Управление материальными потоками, планирование производства	Высокая для дискретного производства	Средняя, ориентирована на узкую специфику	Специализированный интерфейс для производств	Средняя	Дискретное производство и управление запасами
SAP ERP	Полный спектр ERP функций, управление всеми бизнес-процессами	Очень высокая, подходит для крупных организаций с комплексными процессами	Высокая, возможность кастомизации под различные отрасли	Сложный интерфейс, требуется обучение и внедрение	Высокая	Крупные международные компании с высокими требованиями к интеграции
Oracle NetSuite	Учёт, контроль запасов, финансы, CRM	Высокая, особенно для облачных решений и удаленного доступа	Высокая, быстрая адаптация к изменениям в бизнесе	Интуитивно понятный интерфейс, доступный через браузер	Средняя	Средние и крупные компании, нуждающиеся в облачных решениях

Анализ существующих информационных систем показывает, что каждая из них обладает своими сильными и слабыми сторонами, что важно учитывать при выборе решения для конкретного предприятия. Digital Q подходит для небольших компаний благодаря простоте и низкой стоимости, но ограничен в функционале. 1C:ERP предлагает высокую гибкость и широкий функционал для средних и крупных предприятий, хотя требует времени на обучение и имеет более высокие затраты на внедрение. ФОБОС эффективен для дискретного производства, оптимизируя управление материальными потоками, но менее универсален и ограничен в интеграции. SAP ERP обеспечивает глубокую интеграцию бизнес-процессов для крупных компаний, однако высокая стоимость и сложность внедрения могут быть препятствием для малых и средних предприятий. Oracle NetSuite предлагает облачные решения с высокой гибкостью, но может быть дорогим для малых компаний и вызывает опасения по безопасности данных. Выбор системы должен основываться на специфике бизнеса, чтобы достичь максимальной эффективности в управлении производственными процессами.

Проведённый анализ существующих решений позволяет выявить их сильные и слабые стороны и обосновать или выбор, или разработку информационной системы, максимально соответствующей задачам конкретного предприятия. Рассмотренные данные могут быть использованы при проектировании автоматизированных информационных систем для

предприятий различных отраслей промышленности, способствуя более эффективному и качественному управлению производственными процессами.

Библиографический список

1. Коцюба И.Ю., Чунаев А.В., Шиков А.Н. Основы проектирования информационных систем. Учебное пособие. СПб: Университет ИТМО, 2015. 206 с.
2. Акимова И. В. Информационные системы: учебное пособие. Пенза: ПГУ, 2020. 106 с. – ISBN 978-5-907262-98-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/322676> (дата обращения: 11.09.2025).
3. Коршунов А.А., Смирнова Я.И., Нилиповский В.И. Управление запасами на предприятии. StudNet, 2023. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-zapasami-na-predpriyatii> (дата обращения: 18.09.2025).

УДК 681.518; ГРНТИ 50.49

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

И.А. Филатов, Е.В. Тинина

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, filatovi563@gmail.com*

Аннотация. В статье рассматривается актуальность применения интеллектуальных систем управления с применением методов многокритериальной оптимизации в процессах аддитивного производства на базе FDM- и фотополимерной (SLA/DLP) печати. Обоснована ограниченность ручной настройки параметров и целесообразность перехода к интеллектуальным системам, способным строить модели «параметры–критерии», находить компромиссные решения и снижать типичные дефекты печати. Описаны методы многокритериальной оптимизации и условия их использования. Также проведен анализ внедрения таких систем с позиций повышения стабильности, воспроизводимости и эффективности аддитивного производства.

Ключевые слова: интеллектуальные системы управления, аддитивное производство, FDM-печать, фотополимерная печать, многокритериальная оптимизация, параметры, критерии, модели.

THE RELEVANCE OF THE USE OF INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS IN ADDITIVE MANUFACTURING PROCESSES

I.A. Filatov, E.V. Tinina

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, filatovi563@gmail.com*

The summary. The article discusses the relevance of the application of intelligent control systems using multicriteria optimization methods in additive manufacturing processes based on FDM and photopolymer (SLA/DLP) printing. The paper substantiates the limitations of manual parameter settings and the expediency of switching to intelligent systems capable of building "parameters–criteria" models, finding compromise solutions and reducing typical printing defects. Multicriteria optimization methods and conditions of their use are described. The analysis of the implementation of such systems from the standpoint of increasing the stability, reproducibility and efficiency of additive manufacturing is also carried out.

Keywords: intelligent control systems, additive manufacturing, FDM printing, photopolymer printing, multi-criteria optimization, parameters, criteria, models.

Современное аддитивное производство во многом опирается на две технологии: FDM (Fused Deposition Modeling) и фотополимерную печать (SLA/DLP). FDM технология основана на послойной экструзии термопластика и получила широкое распространение благодаря доступности оборудования и относительной простоте использования. Фотополимерные технологии обеспечивают высокую детализацию и гладкую поверхность изделий при иных ог-

раничениях по материалам и постобработке. В обоих случаях на результат печати влияет множество взаимосвязанных параметров, например, качество поверхности, точность размеров, скорости печати. Рост требований к стабильности и воспроизводимости результатов делает недостаточным ручной подбор настроек и стимулирует переход к системному управлению процессами. В данной статье рассматривается специфика управляемых процессов в FDM- и фотополимерной печати, многокритериальность задач настройки, актуальность интеллектуальных систем управления и применяемые методы многокритериальной оптимизации.

FDM-принтеры реализуют послойную экструзию термопластика: материал подаётся в разогретый экструдер, расплавляется и выдавливается через сопло в виде тонкой нити, которая укладывается на платформу или предыдущий слой и затвердевает при охлаждении [1]. Каждый слой наносится поверх предыдущего, формируя трёхмерный объект. К основным компонентам FDM-принтера относятся экструдер (подача и нагрев филамента, сопло), платформа печати, система позиционирования (оси X, Y, Z) и система охлаждения (обдув слоя). Качество и скорость печати задаются несколькими параметрами. Температура экструдера определяет вязкость расплава и адгезию слоёв: недостаточная температура ведёт к недопршивке и плохому слиянию слоёв, избыточная, наоборот, к перепршивке, стринингу и деформациям. Температура платформы влияет на прилипание первого слоя и риск коробления при неравномерном охлаждении и усадке материала. К параметрам движения относятся скорость печати, ускорение и ретракт, то есть откат филамента при перемещении между участками. От них зависят стрининг, точность геометрии и время изготовления. Высота и ширина слоя определяют слоистость поверхности и общее время печати: уменьшение высоты слоя улучшает качество, но увеличивает число слоёв и длительность процесса. Параметры заполнения, такие как плотность и тип заполнения, влияют на прочность и расход материала, а настройки охлаждения – на деформации и проседание нависающих элементов при недостаточном затвердевании. Все проблемы FDM-печати могут быть устранены [1]. Например, деформация снижается подогревом платформы, использованием клея или покрытий, закрытой камерой и правильной ориентацией модели, а слоистость – уменьшением высоты слоя и калибровкой экструдера. Но улучшение одного аспекта часто приводит к ухудшению другого. Таким образом, настройка FDM-печати по своей природе является многокритериальной задачей с противоречивыми целями и обуславливает целесообразность применения формальных методов многокритериальной оптимизации вместо эмпирического подбора.

В технологиях SLA и DLP используется фотополимеризация – отверждение жидкой фотополимерной смолы под воздействием ультрафиолетового излучения длиной волны порядка 405 нм. При облучении молекулы фотоинициатора в смоле распадаются на свободные радикалы, инициирующие цепную реакцию полимеризации и превращающие жидкую смолу в твёрдый полимер [2]. В SLA-принтерах лазерный луч сканирует контур каждого слоя с помощью гальванометрической системы с зеркалами, последовательно отверждая участки смолы, а в DLP-принтерах проектор проецирует изображение целого слоя на поверхность смолы, и слой отверждается за один цикл экспозиции, что обычно ускоряет печать. К основным компонентам относятся резервуар со смолой, источник УФ-излучения, платформа построения, система подъёма по оси Z и система управления [2]. На результат печати влияют временные параметры (время экспозиции, время подъёма и задержки между слоями), толщина слоя, параметры отрыва (скорость подъёма платформы), а также тип и состояние смолы. Время экспозиции определяет степень отверждения и прочность слоёв: недостаточная экспозиция ведёт к недотверждению и хрупкости, избыточная – к переотверждению и искажениям. Выбор режимов предполагает компромисс между качеством, скоростью, расходом смолы и нагрузкой на оборудование [2].

В обоих типах принтеров применение интеллектуальных систем управления сводится к выбору набора параметров для достижения сразу нескольких целей: качество поверхности,

точность размеров, прочность и адгезия слоёв, скорость печати, расход материала, стабильность процесса. То есть цели определяются разными параметрами и взаимосвязаны между собой. Поэтому необходимо применять многокритериальную оптимизацию: искать множество оптимальных решений или одно решение при заданных приоритетах пользователя [3].

Данную оптимизацию можно выполнить вручную, но ручная настройка затруднена большим числом параметров и их взаимным влиянием, а пользователи часто опираются на типовые профили и сталкиваются с деформацией, стринингом, недопрошивкой или отрывами от платформы без системного подхода. В машиностроении повышение качества и стабильности изготовления связано с автоматизацией производственных процессов и применением систем управления, учитывающих множество технологических факторов и ограничений [3]. Перенос этих принципов на аддитивное производство предполагает использование интеллектуальных систем управления (ИСУ), способных строить и обновлять модели связи «параметры–критерии» для конкретного принтера и материала, решать задачу многокритериальной оптимизации, находить компромиссные настройки при заданных приоритетах, адаптироваться к смене материала и условиям, прогнозировать и снижать риск типичных дефектов и учитывать ограничения оборудования и безопасности. Такие системы актуальны как для принтеров на производстве, так и для любительских и образовательных сценариев, где важно сократить время настройки и повысить повторяемость результатов.

Построение моделей типа «параметры–критерии» в задачах управления аддитивным производством базируется на систематическом сборе экспериментальных данных и формализации технологических зависимостей. Для FDM печати в качестве управляющих параметров, как правило, выбирают температуру экструдера и стола, скорость перемещений, высоту и ширину слоя, параметры заполнения, скорость и интенсивность охлаждения, ретракт и ускорения по осям. Для SLA/DLP печати – время экспозиции основного и первых слоев, скорость подъёма платформы, паузы между слоями, толщину слоя, а также характеристики фотополимерной смолы, например, вязкость, степень старения, цвет. Из критериев качества выделяют точность размеров, шероховатость поверхности, прочность и адгезию слоёв, количество дефектов (стрининг, усадочные деформации, отслоения), стабильность процесса, а также время построения и расход материала. Модель «параметры–критерии» строится как отображение от многомерного вектора настроек принтера к вектору показателей качества и эффективности. Такое отображение может задаваться в виде регрессионных уравнений, нейросетевых аппроксиматоров, деревьев решений или нечётких правил, обученных на экспериментальных данных, полученных при печати тестовых образцов.

Важным этапом является планирование экспериментов: варьирование параметров в заданных диапазонах по методу факторных планов или латинских гиперкубов, что позволяет при разумном числе опытов получить информативные данные и оценить, как индивидуальное влияние параметров, так и их взаимодействия [3]. На основе полученной модели интеллектуальная система может прогнозировать значения критериев для новых наборов параметров, оценивать чувствительность качества к отклонениям настроек, а также автоматически подбирать компромиссные режимы.

Поиск компромиссных решений в такой системе опирается на концепцию многокритериальной оптимизации, где нет единственного варианта, а существует множество Парето-оптимальных решений [3]. Для FDM-печати это, например, различные комбинации «скорость–качество–прочность», при которых дальнейшее улучшение качества ведёт к увеличению времени печати или расхода материала.

Интеллектуальная система, опираясь на модель «параметры–критерии», строит множество Парето-эффективных режимов: для каждого варианта она вычисляет прогнозируемые значения критериев и отбрасывает те, которые заведомо хуже по всем показателям. Затем, в зависимости от приоритетов пользователя, выбирается конкретная точка компромисса: для прототипирования может быть важнее скорость при допустимом качестве, для функцио-

нальных деталей – прочность и размерная точность, для массовых тиражей – стабильность и воспроизводимость при ограничении себестоимости. Встроенный модуль предпочтений, например, через весовые коэффициенты, ранжирование критериев или словесные требования «максимально возможное качество при ограничении времени печати не более N часов», позволяет автоматизировать выбор оптимального профиля без ручного подбора.

Снижение типичных дефектов печати в рамках интеллектуальной системы управления достигается за счёт сочетания априорных знаний о природе дефектов и данных, накопленных в процессе эксплуатации. Для FDM-печати система может использовать базы правил вида «если наблюдается деформация на угловых участках и отрыв от стола, то увеличить температуру платформы, снизить скорость первого слоя, активировать обдув после нескольких слоёв, предложить изменение ориентации детали и использование закрытой камеры»; для SLA/DLP-печати – «если фиксируются отрывы тонких опор или недопечатанные мелкие элементы, то следует увеличить время экспозиции, снизить скорость подъёма платформы, изменить конфигурацию поддержек». Интеллектуальная система, анализируя данные счетчиков или камер, может корректировать модель «параметры–критерии», постепенно адаптируясь к конкретному принтеру, партии материала и условиям окружающей среды. Это позволяет не только подбирать параметры «в среднем», но и активно снижать вероятность возникновения дефектов за счёт предиктивного управления: система заранее распознаёт сочетания параметров, исторически приводившие к браку, и избегает их.

Среди методов многокритериальной оптимизации, применимых к задачам аддитивного производства, можно рассмотреть взвешенную свёртку критериев и эволюционные многокритериальные алгоритмы. Метод взвешенной суммы основывается на преобразовании векторной задачи в скалярную: каждому критерию (например, точность размеров, шероховатость, прочность, время печати, расход материала) назначаются веса, отражающие их относительную важность. Далее строится агрегированный целевой функционал, представляющий собой взвешенную сумму нормированных критериев. Оптимизация такой функции (например, градиентными методами или методом поиска по сетке) позволяет найти режим, который в среднем наилучшим образом удовлетворяет выбранным приоритетам. Условием корректного применения метода является сопоставимость критериев (необходима нормализация, чтобы один показатель с большим числовым диапазоном не доминировал над другими), а также наличие у пользователя осмысленных предпочтений, выражаемых через веса. Достоинством метода является простота реализации и интерпретации: оператор может понять, как изменение весов влияет на результат. К недостатку следует отнести чувствительность к выбору этих весов и возможную потерю части Парето-оптимальных решений, особенно в задачах с сильно нелинейными и несвёртываемыми компромиссами, характерными для аддитивных технологий [3].

Эволюционные многокритериальные алгоритмы, такие как NSGA II и его модификации, представляют собой более продвинутый подход, ориентированный на непосредственное построение множества Парето-эффективных решений. В рамках такого метода каждая возможная комбинация настроек принтера рассматривается как особь, а критерии качества – как набор «приспособленностей». Алгоритм формирует популяцию решений, случайным образом или на основе априорных профилей, и далее итеративно улучшает её, применяя операторы скрещивания и мутации к параметрам, одновременно ранжируя особей по Парето-доминированию и поддерживая разнообразие решений. Условиями успешного применения эволюционных методов являются наличие модели, позволяющей быстро оценивать критерии без физической печати каждой особи, и достаточная вычислительная мощность для работы с популяцией и множеством итераций, а преимуществами: способность находить множество альтернативных режимов, охватывающих весь фронт компромиссов, гибкость при сложных и нелинейных зависимостях, а также относительная устойчивость к локальным экстремумам. К недостаткам можно отнести вычислительную затратность, сложность настройки парамет-

ров самого алгоритма (размер популяции, вероятности мутаций и др.), необходимость специальной визуализации и поддержки пользователя при выборе конкретного решения из целого набора Парето-оптимальных вариантов [3].

Анализ внедрения интеллектуальных систем управления, реализующих описанные методы многокритериальной оптимизации, с позиций повышения стабильности, воспроизводимости и эффективности аддитивного производства показывает их существенный потенциал. Во-первых, использование формальных моделей и автоматизированного подбора режимов позволяет снизить влияние человеческого фактора: результат печати становится менее зависимым от опыта конкретного оператора, а больше от объективных данных и систематизированных знаний о процессе. Это ведёт к повышению воспроизводимости: один и тот же детализированный или функциональный объект может быть надёжно изготовлен на разных установках или в разное время с минимальными расхождениями по геометрии и прочности, что особенно важно для серийного и мелкосерийного производства. Во-вторых, интеллектуальная система, контролируя стабильность процесса через мониторинг критических параметров, способна своевременно сигнализировать об отклонениях, предлагать корректирующие действия или даже автоматически подстраивать режимы. Это уменьшает вероятность внезапных сбоев, отрывов моделей и иных критических дефектов [3], что в целом повышает надёжность оборудования и экономит ресурс.

В-третьих, эффективность аддитивного производства возрастает за счёт оптимизации времени и себестоимости изготовления. За счёт многокритериальной оптимизации можно находить режимы, при которых печать выполняется существенно быстрее без критического ухудшения качества или прочности, или, наоборот, при фиксированных ограничениях по времени достигается максимально возможное качество поверхности. Сокращение числа неудачных попыток печати, уменьшение отходов материала и оптимальный выбор параметров заполнения и поддержек также непосредственно снижают затраты. Кроме того, интеллектуальная система может использовать накопленные данные для прогнозирования ресурса расходных материалов, что упрощает планирование технического обслуживания и снижает простои оборудования. В производственных условиях это даёт выигрыш не только в экономике, но и в управляемости процесса: появляется возможность включать аддитивные установки в единую цифровую цепочку предприятия с учётом стандартов качества и требований к прослеживаемости.

Эти системы особенно эффективны там, где требуется стабильность и документируемая воспроизводимость: в машиностроении, приборостроении, медицине, а также в учебных лабораториях, где важно демонстрировать предсказуемость результатов.

Вместе с тем применение интеллектуальных систем управления и многокритериальной оптимизации имеет свои ограничения и недостатки. Внедрение таких систем требует первоначального накопления данных, серий экспериментальных печатей, замера характеристик, построения и валидации моделей, что увеличивает стартовые затраты. Необходимы также вычислительные ресурсы и квалифицированные специалисты для разработки и сопровождения алгоритмов, интеграции их с существующим программным обеспечением принтера и его прошивкой.

Отдельным недостатком может стать «чёрный ящик» некоторых интеллектуальных методов, особенно основанных на нейросетях и сложных эволюционных алгоритмах: оператору бывает трудно понять, почему система предлагает тот или иной набор параметров, и это снижает доверие в ответственных применениях. В условиях мелкосерийного или творческого производства, где операторы привыкли к гибкой ручной настройке и экспериментам, чрезмерная автоматизация может восприниматься как ограничение. Наконец, существует риск некорректного переноса настроек и моделей между разными принтерами и материалами: модель, полученная на одном оборудовании или партии филамента/смолы, может давать

неверные прогнозы на другом, если система не предусматривает адаптацию и регулярное обновление данных.

Сравнивая традиционный эмпирический подход к настройке аддитивных процессов с использованием интеллектуальных систем управления на основе многокритериальной оптимизации [3], можно отметить, что первый остаётся относительно простым и не требует дополнительных вычислительных ресурсов, однако плохо масштабируется и крайне зависим от опыта оператора. Он подходит для единичных заказов, простых деталей и бытовых задач, но критичен к ужесточению требований к качеству и воспроизводимости. Интеллектуальные системы, напротив, требуют более сложной инфраструктуры и начальных затрат, но обеспечивают системный, воспроизводимый и документируемый подход к настройке параметров, позволяющий целенаправленно управлять компромиссами между качеством, скоростью, себестоимостью и надёжностью.

Таким образом, применение интеллектуальных систем управления, использующих формализованные модели «параметры–критерии» и методы многокритериальной оптимизации, является перспективным направлением в развитии FDM и фотополимерных технологий аддитивного производства. Такие системы позволяют не только автоматизировать выбор режимов печати и снизить дефекты, но и существенно повысить стабильность, воспроизводимость и общую эффективность процессов, что особенно важно в условиях перехода от единичного прототипирования к серийному и промышленному использованию 3D-печати. Несмотря на существующие ограничения и требования к ресурсам, снижение стоимости вычислительных средств, накопление отраслевых баз данных и совершенствование алгоритмов ведёт к более широкому внедрению интеллектуальных систем управления в практику аддитивного производства, вплоть до создания адаптивных печатных комплексов, автоматически подстраивающихся под конкретную задачу, материал и условия эксплуатации.

Библиографический список

1. Гибсон, И. Аддитивное производство: технологии 3D-печати, быстрого прототипирования и прямого цифрового производства / И. Гибсон, Д. Розен, Б. Штукер ; пер. с англ. – Москва : ДМК Пресс, 2016. – 736 с.
2. Липатов, А. А. Технологии аддитивного производства : учебное пособие / А. А. Липатов, В. В. Туркин. – Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. – 184 с.
3. Бакунина, Т. А. Основы автоматизации производственных процессов в машиностроении : учебное пособие / Т. А. Бакунина. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 256 с.

УДК 621.81–216; ГРНТИ 55.03.33

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОММУТАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА

М.К. Никольский, И.Н. Романов

*Рязанский государственный радиотехнический университет
Рязань, nikolskiymaxim@gmail.com*

Аннотация. В данной работе рассматривается проектирование корпуса коммутационного устройства. Для автоматизации проектирования будут рассмотрены системы автоматизированного проектирования для создания моделей. Использование современных систем проектирования позволяют ускорить процесс создания деталей и устройств.

Ключевые слова: технологический процесс, системы автоматизированного проектирования, САПР системы, 3D-модель.

DESIGN OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF A SWITCHING DEVICE

M.K. Nikolsky, I.N. Romanov

Ryazan State Radio Engineering University

Ryazan, maximnikolskiy03@gmail.com

Annotation. This paper examines the design of a switching device enclosure. To automate the design, computer-aided design systems for creating models will be considered. The use of modern design systems allows for the accelerated creation of components and devices.

Keywords: technological process, computer-aided design systems, CAD systems, 3D model.

Введение

Стремление к автоматизации промышленных процессов всегда было одной из ключевых задач человечества, направленных на повышение производительности и эффективности производства. Значительный скачок в этой области произошел в 1970-х годах XX века, когда широкое распространение получили электронно-вычислительные машины (ЭВМ), способные обрабатывать большие объемы данных. Это стало катализатором для развития систем автоматизированного проектирования (САПР), которые сегодня являются неотъемлемой частью современного машиностроения и производства. Истоки САПР уходят в 1950-е годы, когда пионеры, такие как Иван Сазерленд, создали первые интерактивные графические программы, такие как Sketchpad, заложившие основу для цифрового проектирования (History of CAD software). С тех пор САПР эволюционировали от простых 2D-чертежей к сложным системам 3D-моделирования, симуляции и анализа, позволяя инженерам визуализировать и тестировать конструкции до их физической реализации.

Тип проводимого проектирования

Проводимое проектирование относится к категории цифрового технологического проектирования с полным импортозамещением инструментальной базы. Оно строится как комплексная разработка технологического процесса изготовления модульного коммутационного устройства вплоть до готового изделия. В основе лежит принцип «design for manufacturing» - конструкция и технология разрабатываются одновременно с жёсткой ориентацией на реальные производственные возможности и ограничения. Используется параметрическое 3D-моделирование в отечественных САПР с автоматической генерацией всей необходимой конструкторской и технологической документации. Технологический процесс организуется как направленная цепочка взаимосвязанных этапов (узлов), где каждый последующий получает проверенные данные от предыдущего без потери информации. Обязательным элементом является встроенная автоматическая верификация электрической целостности, которая переводит контроль качества из выборочного в полный и воспроизводимый. Для решения данной задачи была выбрана архитектура технологического процесса, которая строится в виде последовательной цепочки взаимосвязанных этапов (узлов), каждый из которых выполняет конкретную функцию.

Выбор инструментов для моделирования

Традиционное производство коммутационных ячеек сталкивается с рядом системных ограничений: Высокий процент скрытых дефектов монтажа печатных плат (обрывы дорожек, холодная пайка, микротрещины), которые проявляются только в эксплуатации (по отраслевой статистике - до 30–40 % отказов). Длительный цикл от эскиза до готового изделия из-за несогласованности конструкторской и технологической подготовки. Зависимость от импортного ПО САПР, что создает риски в условиях санкций и требований импортозамещения. Отсутствие 100%-ного объективного контроля электрической целостности на этапе выхода с производства.

Предлагаемый подход направлен на устранение этих проблем через:

- Полное импортозамещение инструментов проектирования (T-FLEX CAD + КОМПАС-3D).
- Параметризацию и унификацию конструкции корпуса для быстрого выпуска модификаций.
- Внедрение автоматической прозвонки как обязательной операции выходного контроля.
- Интеграцию результатов прозвонки в единую базу данных для формирования цифрового паспорта каждого изделия.

Постановка задачи

Для демонстрации разработанного подхода к проектированию технологического процесса коммутационного устройства рассматривается задача создания современной модульной ячейки среднего напряжения с повышенными требованиями к надежности, технологичности и контролю качества на всех этапах производства. Исходная концепция предполагает традиционное ручное или частично автоматизированное проектирование корпуса и электрической части с последующим выборочным контролем готовых изделий. Необходимо исследовать и реализовать комплексный подход, направленный на повышение качества, сокращение брака и обеспечение полной прослеживаемости:

- Использование современных отечественных систем САПР (T-FLEX CAD и КОМПАС-3D) для параметрического 3D-проектирования корпуса, генерации конструкторской документации по ЕСКД и прямой подготовки данных для станков с ЧПУ.

- Интеграция в конструкцию ячейки встроенной (или стендовой) системы автоматической прозвонки электрических цепей печатной платы, позволяющей выполнять полный контроль целостности соединений, отсутствие коротких замыканий и правильность монтажа непосредственно после пайки и сборки.

Проведение имитационных экспериментов и анализ результатов.

Прозвонка - это один из ключевых этапов подтверждения правильности и целостности электрических соединений внутри готового изделия. Она выполняет роль финального теста для всей электрической структуры платы перед тем, как устройство будет допущено к дальнейшей сборке. Такая проверка позволяет получить информацию о каждой паре точек, которая по принципиальной схеме должна или не должна быть соединена, получает прямое измерение. Результаты автоматически классифицируются, документируются и привязываются к конкретному экземпляру изделия. Это позволяет:

- резко снизить вероятность пропуска скрытого дефекта;
- исключить человеческий фактор на этапе электрического контроля;
- создать объективный цифровой след каждого проверенного изделия;
- быстро локализовать причину брака, если он всё же возникает (проблема в пайке, материале платы, в механическом повреждении).

Заключение

В результате выполнения работы был успешно реализован комплексный подход к автоматизации технологической подготовки производства. С использованием современных систем автоматизированного проектирования (САПР) была создана точная 3D-модель детали, разработана управляющая программа для фрезерной обработки на станке и спроектирован полный технологический процесс в системе ВЕРТИКАЛЬ. Эти результаты обеспечили высокую точность и качество изготовления детали, соответствующей техническим требованиям, а также продемонстрировали эффективность применения методов автоматизации для повыше-

ния производительности, оптимизации производственных процессов и снижения затрат. Полученные достижения могут быть практически применены в производстве для улучшения технологических решений.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 2.104-2023 Единая система конструкторской документации. - Москва: Стандартинформ, 2021.
2. ГОСТ 23501.108-85 Системы автоматизированного проектирования. Классификация и обозначение – Москва: Государственный комитет по стандартам, 1985.
3. Анализ чертежа детали / Грибов Н.В. – Рязань: РИЦ РГРТУ 2020. – 56с.
4. Назначение режимов резания и выбор режущего инструмента: метод. указ. к практ. занятиям / Грибов Н.В., Миловзоров О.В. – Рязань: РИЦ РГРТУ, 2021. – 54с.
5. Современное оборудование промышленных предприятий: учеб. пособие для вузов / Грибов Н.В., Миловзоров О.В. – Рязань: РИЦ РГРТУ, 2021. – 257с.
6. Создание трехмерных моделей и конструкторской документации в системе КОМПАС-3D. Практикум / В. П. Большаков – Москва: Учебное пособие (ВНУ), 2020. – 489 с.

УДК 519.242; ГРНТИ 27.43

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМОЙ ОБЛАСТИ ФАКТОРНОГО ПРОСТРАНСТВА ОБЪЕКТОВ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ НА ЗНАЧЕНИЯ ФУНКЦИИ ОТКЛИКА

Е.В. Городничева, Ю.А. Сосулин

*Рязанский государственный радиотехнический университет
Рязань, gorod.9@mail.ru, sosulin45@mail.ru*

Аннотация. Рассматривается задача построения линейно параметризованной регрессионной модели второго порядка и определения границ пространства планирования для объектов с заданными ограничениями на значение выходной величины. Предлагается численная процедура циклического решения задач планирования эксперимента, оценивания параметров квадратичной регрессионной модели и уточнения границ области допустимых значений факторов. Рассматриваются вопросы определения технологических допусков на значения факторов объекта, в пределах которых соблюдаются поставленные ограничения на функцию отклика.

Ключевые слова: регрессионный анализ, функция отклика, факторное пространство, планирование эксперимента, пространство планирования.

ALGORITHM FOR DETERMINING THE PERMISSIBLE REGION FACTOR SPACE OF OBJECTS WITH CONSTRAINTS ON THE RESPONSE FUNCTION VALUES

E.V. Gorodnicheva, Yu.A. Sosulin

*Ryazan State Radio Engineering University
Ryazan, gorod.9@mail.ru, sosulin45@mail.ru*

The summary. This paper considers the problem of constructing a linearly parameterized second-order regression model and determining the boundaries of the planning space for objects with specified constraints on the output value. A numerical procedure is proposed for cyclically solving experimental design problems, estimating the parameters of a quadratic regression model, and refining the boundaries of the region of permissible factor values. Issues of determining technological tolerances for the values of object factors within which the specified constraints on the response function are met are also considered.

Keywords: regression analysis, response function, factor space, experimental design, planning space.

В работе рассматривается решение задачи оценивания параметров регрессионной модели при наличии ограничений на значение функции отклика и пространство планирования.

Такая задача возникает при исследовании объектов и технологических процессов, выходная величина которых ограничена некоторым предельным значением. Это может быть, например, максимальное или минимальное значение некоторого показателя качества продукта, обеспечиваемое в определенном диапазоне значений факторов, определяющих этот показатель. В этом случае зависимость выходной величины объекта от определяющих ее факторов может быть представлена регрессионной моделью второго порядка с усеченной (уплощенной) вершиной.

$$\hat{y}(x) = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m b_{ii} x_i^2 \quad (1)$$

Заметим, что решение поставленных задач сводится к разработке методов построения модели (1) в условиях, когда внутри стандартно используемого пространства планирования, ограниченного неравенствами $-1 \leq x_i \leq 1$, $i=1,2,\dots,m$, выделяется в простейшем случае симметричная относительно начала координат область, ограниченная неравенствами $-\alpha \leq x_i \leq \alpha$, $\alpha \leq 1$, $i=1,2,\dots,m$. Измерения в пределах этой выделенной области факторного пространства либо дают значения, определяемые фиксированным уровнем функции отклика, либо вообще невозможны. Следует учитывать, что на начальных этапах исследования границы α области, которая недоступна для прямого наблюдения, остаются неизвестными.

Для описания такой зависимости можно использовать стандартный подход классического регрессионного анализа [2]. При этом модель объекта будет представляться полиномиальной зависимостью вида.

$$\hat{y}(x) = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m b_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^m b_{iii} x_i^3 + \dots \quad (2)$$

Очевидно, что количество элементов этой модели должно обеспечивать возможность аппроксимации зависимости указанной выше формы с достаточно высокой точностью. Данное обстоятельство сопровождается значительным увеличением числа оцениваемых коэффициентов b и, соответственно, числа N необходимых для этого измерений и, следовательно, резким увеличением необходимых для решения поставленных задач времени и средств. Кроме того, повышение сложности вида модели и рост количества оцениваемых коэффициентов влекут за собой увеличение размерности используемых в оценивании матриц, ухудшение их обусловленности, а также снижение точности и эффективности процедуры оценивания коэффициентов модели [1].

Решение задачи моделирования объектов с ограничениями на значение функции отклика может быть получено на основании методики, предлагаемой в [3]. В соответствии с данной методикой для построения модели вида (1) должны использоваться только результаты измерений выходной величины объекта в пределах допустимой области факторного пространства (пространства планирования). Построенная таким образом регрессионная модель адекватно представляет свойства исследуемого объекта в пределах пространства планирования и имеет виртуальный характер в области ограничений.

Важно отметить, что наряду с построением регрессионной модели, адекватной в пределах активного эксперимента, особый интерес представляют границы области планирования и области ограничений. Именно они задают допустимые диапазоны изменения факторов, в которых гарантируется требуемое значение выходного параметра исследуемого объекта.

Решение задачи определения границ пространства планирования и области ограничений может быть получено совместным решением регрессионного уравнения (1) и значения ограничения y_{const} , наложенного на функцию отклика. Такое решение дает уравнение эллипсоида в факторном пространстве, параметры которого могут быть получены из условия:

$$b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m b_{ii} x_i^2 = y_{const}. \quad (3)$$

При этом необходимо иметь в виду, что с практической точки зрения, задавать область ограничений эллипсоидом в факторном пространстве неудобно. Подобные ограничения, как правило, формулируются через минимальные и максимальные значения факторов, которые определяют область факторного пространства, соответствующую заданному значению функции отклика. Для этого достаточно в качестве области ограничений взять параллелепипед в пространстве планирования, который охватывает эллипсоид, заданный выражением (3).

Ввиду стохастической природы исследуемого объекта и возможного искажения результатов при попадании точек наблюдений (точек плана эксперимента) в недопустимую область, целесообразно задать область ограничений в виде параллелепипеда, вписанного в эллипсоид (3), а пространство планирования – в виде параллелепипеда, описанного вокруг этого эллипсоида (3).

Предлагается определять границы вписанного и описанного параллелепипедов с помощью дисперсий предсказанных значений функции отклика, вычисленных в вершинах эллипсоида (3).

Дисперсия предсказанного значения функции отклика дается выражением:

$$\sigma^2 [\hat{y}(\mathbf{x})] = \mathbf{f}_x^T (\mathbf{F}^T \mathbf{F})^{-1} \mathbf{f}_x \sigma^2, \quad (4)$$

где $\mathbf{f}_x = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)]^T$ – вектор функций-регрессоров из (1), вычисленный для множества факторов, заданного вектором $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$.

Для построения определяющих область ограничений и пространство планирования параллелепипедов необходимо вычислить прогнозные значения функции отклика в вершинах граничного эллипсоида и определить оценку $s^2 [\hat{y}(\mathbf{x})]$ дисперсии предсказания $\sigma^2 [\hat{y}(\mathbf{x})]$. Тогда на основе величины стандартного отклонения $s [\hat{y}(\mathbf{x})]$ можно определить доверительные интервалы для предсказанных значений $\hat{y}(\mathbf{x})$. Полученные граничные значения этих интервалов можно использовать в качестве y_{const} в выражении (3). Это даст возможность отдельно оценить эллипсоиды, определяющие область ограничений и пространство планирования, и, следовательно, параметры параллелепипедов, ограничивающих эти области.

В рамках такой постановки задачи возможна следующая организация эксперимента, предусматривающая поэтапное уточнение границ области ограничений и пространства планирования.

1. В активной области нормированного факторного пространства с границами ± 1 произвольно задаётся начальное приближение области ограничений, где для каждого фактора границы определяются значениями $\pm\alpha$, $\pm\beta$, $\pm\gamma$ и т.д. При этом требуется, чтобы для величин, определяющих границы области ограничений, соблюдались условия: $\pm\alpha$, $\pm\beta$, $\pm\gamma$ по абсолютной величине не превышали значения 1, и на этих границах выходная величина y не достигала заданного значения y_{const} .

2. В сформированном пространстве планирования задают начальный план эксперимента ϵ^0 .

3. На основе составленного плана ϵ^0 проводятся необходимые измерения и вычисляются МНК-оценки коэффициентов регрессионной модели (1).

4. Затем формируется выражение (3), которое задаёт прогнозируемое положение эллипсоида, определяющего границу области ограничений и пространства планирования.

5. Вычисляются координаты вершин эллипсоида x_v , прогнозные значения функции отклика $\hat{y}(x_v)$ в этих точках, а также соответствующие дисперсии $\sigma^2[\hat{y}(x_v)]$ прогнозов.

6. На основе вычисленных прогнозных значений функции отклика $\hat{y}(x_v)$ и их дисперсий $\sigma^2[\hat{y}(x_v)]$ устанавливаются обновленные границы области ограничений и пространства планирования $\pm\alpha_1, \pm\beta_1, \pm\gamma$ и т. д. для каждого фактора. Это позволяет сформировать уточненную область планирования и построить следующий экспериментальный план ε^1 .

7. Согласно построенному плану ε^1 , проводятся необходимые измерения, после чего уточняются оценки коэффициентов регрессионной модели, вычисляется новое приближение области планирования и формируется следующий экспериментальный план ε^2 .

8. Данная процедура циклически повторяется с каждым новым экспериментальным планом, пока не сработает некоторое правило останова, в роли которого может выступать требуемая точность определения границ области ограничений на двух соседних итерациях.

Очевидно, что действия пунктов 5 и 6 представленной процедуры последовательного уточнения границ области ограничений и пространства планирования существенным образом связаны с конкретным видом эллипсоида (3) и его расположением в факторном пространстве.

Вследствие этого, построение регрессионной модели объекта при ограничениях на выходную величину сводится к циклическому повторению следующих этапов: планирование эксперимента, проведение наблюдений согласно полученному плану, обработка результатов наблюдений методом наименьших квадратов, построение регрессионной модели и уточнение границ допустимых значений входных факторов.

Библиографический список

1. Айвазян С.А. Основы эконометрики. – М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 432 с.
2. Введение в теорию планирования эксперимента: учеб. пособие / Н. И. Сидняев, Н. Т. Вилисова. - М. : Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2011. - 463 с.
3. Городничева, Е. В. Планирование эксперимента при ограничениях на функцию отклика / Е. В. Городничева, М. В. Ленков М.В., Ю. А. Сосулин // Методы и средства обработки и хранения информации: межвузовский сборник научных трудов. – Рязань, 2024. – С.141-145.

УДК 681.518; ГРНТИ 50.49

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ УЧЕТНОЙ СИСТЕМЫ 1С

К.А. Янушкевич

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, abbtkir@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена критической проблеме производительности информационных систем на платформе 1С Предприятие 8.3, связанной с неэффективной обработкой больших объемов данных через циклы. В материале проводится анализ причин снижения скорости работы учетной системы при масштабировании количеств записей и переходе от тестовой эксплуатации к промышленной нагрузке. Рассматриваются технические последствия построчной обработки объектов с акцентом на избыточные обращения к серверу баз данных, накладные расходы на сетевое взаимодействие и риски возникновения взаимоблокировок. Основное внимание уделено методам устранения недостатков производительности через переход к мышлению множествами, внедрению пакетных операций записи с использованием возможностей языка запросов и выноса тяжелых вычислений в фоновые задания.

Ключевые слова: платформа, оптимизация, учетная запись, циклы агрегирующих запросов, посторочная обработка объектов, пакетные операции записи.

OPTIMIZING THE 1C ACCOUNTING SYSTEM

K.A. Janushkevich

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, abbitkir@yandex.ru

The summary. The article is devoted to a critical problem of the performance of information systems on the 1C Enterprise 8.3 platform, related to inefficient processing of large volumes of data through cycles. The material provides a detailed analysis of the reasons for the decrease in the speed of the accounting system when scaling the number of records and moving from test operation to industrial load. The author examines the technical consequences of line-by-line processing of objects, focusing on redundant accesses to the database server, network overhead, and the risk of deadlocks. The focus is on methods for addressing performance issues by adopting a set-based approach, implementing batch writing operations, leveraging query language capabilities, and off-loading heavy computations to background jobs.

Keywords: replacing loops with aggregating queries, post-processing objects, and batch writing operations.

Проблема циклической обработки больших объемов данных возникает из-за фундаментального различия в мышлении разработчика и архитектуры системы управления базами данных, представляя процесс обработки как последовательный перебор элементов один за другим. Такой подход интуитивно понятен и легко реализуем на встроенном языке 1С, что приводит к написанию кода, где каждый элемент коллекции обрабатывается в отдельной итерации цикла. На этапе разработки и тестирования, когда в базе содержится несколько десятков документов или справочников, такой код работает мгновенно и не вызывает подозрений. Однако по мере накопления исторических данных количество записей растет экспоненциально. То, что занимало секунду при десяти записях, при десяти тысячах записей превращается в процесс, длящийся часами. Это создает иллюзию стабильности на ранних этапах проекта и скрытую угрозу масштабирования, которая реализуется именно в момент пиковых нагрузок, например, при закрытии месяца или массовой загрузке прайс-листов.

Рассмотренные выше аспекты, агрегирующие цикл, и решения с помощью языка запросов С1 показаны в таблице 1.

Таблица 1. Проблемы и решения с помощью языка запроса 1С

Аспект	Проблемный подход (циклы)	Оптимальный подход (пакетная обработка)
Принцип обработки	Линейное мышление, последовательный перебор элементов один за другим	Мышление множествами, обработка наборов данных целиком
Взаимодействие с СУБД	Тысячи мелких запросов, формируемых для каждой интеграции цикла	Один мощный пакетный запрос или операции внутри СУБД
Блокировки данных	Длительное удержание блокировок на отдельные записи, риск взаимоблокировок	Минимизация времени транзакции, снижение риска конфликтов
Масштабируемость	Работает быстро на тестовых данных, тормозит на промышленных объемах	Стабильная производительность независимо от роста количества записей
Влияние на пользователя	Зависание интерфейса, ожидание завершения операций минут или часов	Отзывчивый интерфейс, вынос тяжелых задач в фоновые задания
Расход ресурсов	Затраты процессорного времени на холостые операции и сетевые переключения	Ресурсы направляются на полезную бизнес-логику и агрегацию данных

Техническая суть проблемы циклов по тысячам записей заключается в чрезмерном количестве обращений к серверу базы данных и накладных расходах на контекстные переключения. Когда код выполняет цикл по коллекции объектов и внутри каждой итерации вызывает метод записи, выбора или получения данных, платформа 1С вынуждена формировать и отправлять отдельный запрос к СУБД для каждого шага. Это означает, что вместо одного

мощного пакета данных система отправляет тысячи мелких запросов. Каждый такой запрос требует времени на сетевую передачу, планирование выполнения сервером баз данных, получение блокировок на записи и фиксацию транзакции. Кроме того, если цикл выполняется на клиенте, а данные находятся на сервере, добавляется стоимость сетевого взаимодействия между клиентским приложением и сервером 1С Предприятия 8.3 для каждой итерации. При построчной записи объектов система может устанавливать блокировки на отдельные записи или таблицы, что приводит к взаимоблокировкам при одновременной работе нескольких пользователей. Ресурсы сервера тратятся не на полезную бизнес-логику, а на обслуживание инфраструктуры множественных мелких операций [1]. В результате процессорное время загружается холостыми операциями, а пользователи сталкиваются с зависаниями интерфейса и ошибками таймаута.

Решение проблемы лежит в плоскости перехода от построчной обработки к пакетной и множественной обработке данных. Первым и наиболее эффективным шагом является вынос логики обработки на уровень языка запросов 1С. Вместо того чтобы выбирать данные в коллекцию и перебирать их в коде, следует сформулировать запрос, который выполнит необходимую выборку, группировку или агрегацию непосредственно внутри СУБД. Язык запросов 1С транслируется в нативный SQL, что позволяет базе данных использовать свои механизмы оптимизации, индексы и кэширование. Если необходимо изменить данные, следует использовать операторы обновления внутри запроса или временные таблицы, куда сначала выгружается весь массив данных, обрабатывается там, а затем результат записывается обратно. Вторым ключевым методом является использование механизмов пакетной записи для регистров и документов. Объекты системы 1С Предприятия 8.3, такие как наборы записей регистров, поддерживают методы массовой записи, которые позволяют отправить все изменения в базу данных одним вызовом [2]. Это снижает количество транзакций с тысяч до одной и минимизирует время удержания блокировок. Также важно пересмотреть архитектуру тяжелых операций и вынести их из интерактивного режима работы пользователя в фоновые задания. Регламентные задания позволяют выполнять обработку больших массивов данных в отдельном сеансе без блокировки работы пользователей, разбивая процесс на этапы или выполняя его в ночное время. Комплексное применение этих подходов требует изменения привычек программирования, но дает кратный рост производительности.

Пример медленного кода, который обрабатывает 10 000 записей, показан на рисунке 1.

```
// Медленно: 10 000 записей → 10 000 итераций
Сумма = 0;
Выборка = Движения.Продажи.Выбрать();
Пока Выборка.Следующий() Цикл
    Если Выборка.Статус = Перечисления.Статусы.Выполнен Тогда
        Сумма = Сумма + Выборка.Сумма;
    КонецЕсли;
КонецЦикла;
```

Рис. 1. Неэффективный метод оптимизации

Проблема этого подхода заключается в том, что интерпретатор 1С выполняет фильтрацию и суммирование для каждой записи по отдельности, что блокирует пользовательский интерфейс и создает огромную нагрузку на сеть.

Решением является перенос логики на сторону СУБД через агрегирующие функции, показанный на рисунке 2.

```

// Быстро: вычисление за 0.1 сек
Запрос = Новый Запрос;
Запрос.Текст =
"ВЫБРАТЬ
| СУММА(Движения.Сумма) КАК ИтоговаяСумма
| ИЗ
| РегистрНакопления.Продажи.Движения КАК Движения
| ГДЕ
| Движения.Статус = &СтатусВыполнен";

Запрос.УстановитьПараметр("СтатусВыполнен", Перечисления.Статусы.Выполнен);
Результат = Запрос.Выполнить().Выгрузить();
Сумма =?(Результат.Количество() > 0, Результат[0].ИтоговаяСумма, 0);

```

Рис. 2. Эффективный метод оптимизации, использующий функцию СУММА.

В этом примере СУБД выполняет суммирование на уровне индексов, по сети передается только одна строка вместо 10 000, и интерпретатор 1С не участвует в вычислениях. Сравнительная таблица производительности показана в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение производительности количества записей

Количество записей	Цикл в коде	Агрегация в запросе	Ускорение	ТРi
1000	0.3 сек	0.02 сек	15	12Мб
1000	3.8 сек	0.08 сек	47	12Мб
10000	42 сек	0.35 сек	120	120Мб

Эффект от замены циклов агрегацией включает ускорение от 10 до 100 раз, снижение сетевого трафика до 99 %, минимизацию нагрузки на клиента и возможность использования индексов СУБД для оптимизации.

Оптимизация циклов по тысячам записей является не просто техническим улучшением кода, а необходимым условием для стабильной работы учетной системы на больших объемах данных. Игнорирование этой проблемы на этапе проектирования приводит к техническому долгу, который становится невозможно исправить без полной переписки модулей в будущем. Разработчикам необходимо мыслить множествами, понимая, что база данных эффективнее всего работает с наборами данных, а не с отдельными строками.

Внедрение пакетных операций, использование возможностей языка запросов на платформе 1С Предприятие 8.3 и грамотное распределение нагрузки между клиентом, сервером приложений и сервером баз данных позволяет создать систему, которая остается быстрой и отзывчивой независимо от роста бизнеса.

Библиографический список

1. Кедрин В. С., Родюков А. В. Ключевые факторы развития информационной системы управления вузом на базе платформы «1С: Предприятие 8» // Информатика и образование. – 2019. – №. 3. – С. 17-26.
2. Старков Е. В. Разработка и интеграция мобильного приложения на базе Android для оптимизации рабочих процессов в системе 1С с применением моделей машинного обучения: магистерская диссертация : дис. – б. и., 2024.

УДК 519.242; ГРНТИ 27.43

ПОСТРОЕНИЕ ТОЧНЫХ D-ОПТИМАЛЬНЫХ ПЛАНОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ОБЪЕКТОВ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ НА ФУНКЦИЮ ОТКЛИКА

А.А. Батистова, Е.В. Городничева, Ю.А. Сосулин

Рязанский государственный радиотехнический университет

Рязань, batistovalina@gmail.com, gorod.9@mail.ru, sosulin45@mail.ru

Аннотация. Рассматривается задача планирования эксперимента для построения линейно параметризованной регрессионной модели заданного вида при наличии ограничений на значение функции отклика и пространство планирования. Предлагается численная трех-этапная процедура построения точных экспериментальных планов, близких к D-оптимальным, на базе спектров соответствующих непрерывных D-оптимальных планов.

Ключевые слова: регрессионные модели, планирование эксперимента, D-оптимальный экспериментальный план.

CONSTRUCTION OF EXACT D-OPTIMAL DESIGNS FOR INVESTIGATING OBJECTS SUBJECT TO CONSTRAINTS ON THE RESPONSE FUNCTION

A.A. Batistova, E.V. Gorodnicheva, Yu.A. Sosulin

Ryazan State Radio Engineering University

Ryazan, batistovalina@gmail.com, gorod.9@mail.ru, sosulin45@mail.ru

Abstract. The problem of experimental design for constructing a linear parametric regression model of a given form under constraints on the response function value and the design space is considered. A numerical three-stage procedure for constructing exact experimental designs that are close to D-optimal, based on the spectra of the corresponding continuous D-optimal designs, is proposed.

Keywords: regression models, design of experiments, D-optimal experimental design.

Идентификация сложных технических объектов или технологических процессов предполагает решение двух основных задач: оценивания параметров математической модели, представляющей исследуемый объект, и планирования эксперимента по получению необходимых для оценивания экспериментальных данных.

При решении задачи моделирования обычно предполагается, что модель объекта представляется регрессионной зависимостью известного вида:

$$y = \sum_{i=1}^k \beta_i f_i(x_1, x_2, \dots, x_m) + \varepsilon, \quad (1)$$

где y – выходная величина объекта; $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ – вектор входных факторов; $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)^T$ – вектор неизвестных коэффициентов (параметров) модели; k – число коэффициентов модели; f_i – функции-регрессоры постулируемой регрессионной модели; ε – случайная ошибка, приложенная к выходу объекта.

Для получения оценок \mathbf{b} вектора неизвестных коэффициентов $\boldsymbol{\beta}$ обычно используется метод наименьших квадратов [1]:

$$\mathbf{b} = (\mathbf{F}^T \mathbf{F})^{-1} \mathbf{F}^T \mathbf{y}. \quad (2)$$

Здесь \mathbf{F} – матрица значений функций-регрессоров f_i , определяемых видом модели, во всех N опытах.

При решении задачи планирования эксперимента обычно используется критерий D-оптимальности, обеспечивающий наибольшую точность получаемого регрессионного уравнения [2].

Критерий D-оптимальности требует такого выбора плана ε , содержащего N опытов, при котором определитель информационной матрицы $M = (F^T F)$ имеет максимальную величину.

$$|M(\varepsilon^*)| = \max_{\varepsilon \in Q_X} |M(\varepsilon)| = \max_{\varepsilon \in Q_X} |F^T F|. \quad (3)$$

Обычно задача планирования эксперимента и построения регрессионной модели вида (1) решается при условии нормированного факторного пространства, определяемого неравенствами $-1 \leq x_i \leq +1$ по каждой входной переменной.

Однако, существуют объекты и процессы, и, соответственно, исследовательские задачи, в которых внутри факторного пространства, ограниченного неравенствами $-1 \leq x_i \leq 1$, $i = 1, 2, \dots, m$, существует область, ограниченного неравенствами $-a \leq x_i \leq +a$, в пределах которой функция отклика существенно отличается по форме от ее вида в остальной области факторного пространства. Это может быть, например, область требуемого уровня качества продукта. Тогда данное условие выражается в виде заданного значения функции отклика в пределах указанной области. Очевидно, что использование методов регрессионного анализа и планирования эксперимента при решении подобных задач будет сталкиваться с нарушением требования гладкости исследуемой зависимости и ограничениями на область факторного пространства, используемую для планирования и проведения наблюдений.

Для решения поставленной таким образом задачи идентификации с помощью экспериментально-статистических методов может быть использована отдельная аппроксимация функции отклика в различных областях факторного пространства [3]. При этом предполагается разделение области Q_X факторного пространства, заданного неравенствами $-1 \leq x_i \leq 1$, $i = 1, 2, \dots, m$, на две части: области, в пределах которой имеются ограничения на значение функции отклика, заданной неравенствами $-\alpha_i \leq x_i \leq \alpha_i$, $\alpha_i < 1$, $i = 1, 2, \dots, m$, и оставшейся области эксперимента, в пределах которой возможно проведение измерений выходной величины объекта.

Функция отклика на области эксперимента может быть представлена, как правило, регрессионной моделью второго порядка. Оценивание параметров этой модели должно проводиться на основании измерений выходной величины объекта, проводимых в этой области.

Решение задачи получения необходимых для построения регрессионной модели исследуемого объекта измерительных данных должно выполняться в классе точных экспериментальных планов.

Задача построения точного D-оптимального плана заключается в определении такого расположения заданного числа N экспериментальных точек в пространстве планирования, при котором выполнялся бы критерий (3). Заметим, однако, что прямой поиск $\max_{\varepsilon_N \in Q_X} |M(\varepsilon_N)|$

связан с необходимостью решения многоэкстремальной задачи в пространстве большой размерности. Поэтому в большинстве практических ситуаций используются методы, позволяющие получить точные планы, близкие к оптимальным, и не требующие решения многомерных многоэкстремальных задач. С вычислительной точки зрения вместо поиска экстремума выражения (3) оказывается выгоднее построить непрерывный оптимальный план и произвести его округление до точного плана.

Заметим, что непрерывные D-оптимальные планы могут иметь в спектре число точек, значительно превышающее число неизвестных коэффициентов уравнения регрессии. Отмеченное обстоятельство еще более усугубляется при решении задач с ограничениями на значения функции отклика и пространство планирования. В то же время может оказаться необходимым построение точного D-оптимального плана с числом точек N , соизмеримым с числом k оцениваемых коэффициентов.

Для решения задачи планирования эксперимента при наличии ограничений на пространство планирования может быть предложена процедура построения точного D-оптимального плана, близкого к оптимальному, выполняемая в три этапа.

На первом этапе необходимо построить непрерывный D-оптимальный план, соответствующий заданному регрессионному уравнению и ограничениям, наложенным на пространство планирования. При этом, при заданных ограничениях на число наблюдений N , для получения точного плана будут необходимы только координаты точек спектра непрерывного плана. На втором этапе необходимо из всего множества точек спектра непрерывного плана выбрать подмножество заданной длины, в наибольшей степени удовлетворяющее критерию D-оптимальности (3). На третьем этапе можно повысить степень близости полученного точного плана к оптимальному за счет уточнения положения полученной совокупности точек.

В рассматриваемой задаче получения точек спектра непрерывного D-оптимального плана при наличии ограничений на пространство планирования процедура непрерывного планирования будет иметь следующий вид.

1. Формируется произвольный начальный N -точечный план ε_0 с невырожденной информационной матрицей $M(N) \neq 0$.

2. В пространстве планирования Q_x , ограниченном внешними неравенствами $-1 \leq x_i \leq 1$ и внутренними неравенствами $-\alpha \leq x_i \leq \alpha$, ограничивающими область, измерения внутри которой недоступны, отыскивается точка x^* , в которой имеется глобальный максимум дисперсии предсказания $d(x, \varepsilon_0)$

$$f^T(x^*)C(N)f(x^*) = \max_{x \in Q_x} f^T(x)C(N)f(x).$$

3. Полученная точка x^* добавляется к исходному плану ε_0 и получается план ε_1 с информационной матрицей $M(N+1)$

$$M(N+1) = M(N) + f(x^*)f^T(x^*).$$

4. Действия пунктов 2 и 3 повторяются с полученным на предыдущих этапах планом ε_1 .

Таким образом, если выбрать некоторый начальный план и проводить вычисления по приведенным рекуррентным формулам достаточно долго, то неоптимальность начального плана будет иметь все меньший вес и в итоге будет получен план, содержащий все точки спектра оптимального плана.

Для построения точных планов, близких к D – оптимальным и содержащих только точки спектра соответствующего непрерывного D - оптимального плана для заданного вида регрессионного уравнения, может быть предложена следующая процедура.

1. Задается произвольная выборка объема N из спектра соответствующего непрерывного D - оптимального плана, т.е. формируется начальный N – точечный план ε_{N0} с информационной матрицей $M(\varepsilon_{N0})$. При этом множество точек спектра непрерывного плана оказывается разбитым на два подмножества: x_i , $i=1,2,\dots,N$, составившие начальный план ε_{N0} и x_j , $j=N+1,N+2,\dots,n$, не вошедшие в него.

2. Каждая точка x_i , $i=1,2,\dots,N$ начального плана ε_{N0} последовательно заменяется на одну из оставшихся $n-N$ точек x_j , $j=N+1,N+2,\dots,n$ спектра непрерывного плана. Для этого из начального плана ε_{N0} отбрасывается одна из точек x_i , $i=1,2,\dots,N$ и формируется план ε_{N-10} с информационной матрицей

$$M(\varepsilon^0(N-1)) = M(\varepsilon^0(N)) - f(x_i)f^T(x_i).$$

Далее в полученный план ε_{N-1}^0 поочередно добавляются точки из подмножества X_j , $j=N+1,N+2,\dots,n$. После каждой такой замены вычисляется определитель информационной матрицы

$$M(\varepsilon^0(N)) = M(\varepsilon^0(N-1)) + f(x_j)f^T(x_j).$$

3. Точка x_j^* , дающая максимальное значение определителя

$$\max_{x_j^* \in Q_x} \left| M(\varepsilon^0(N-1)) + f(x_j)f^T(x_j) \right|,$$

окончательно включается в план ε_{N-10} и получается план ε_{N1} с информационной матрицей

$$M(\varepsilon^1(N)) = M(\varepsilon^0(N-1)) + f(x_j^*)f^T(x_j^*).$$

4. Действия пунктов 2 и 3 повторяются с полученным на предыдущих этапах планом ε_N до тех пор, пока происходит увеличение определителя информационной матрицы.

5. Останов по предлагаемой процедуре построения точных D-оптимальных планов выполняется после полного перебора всех точек исходного плана.

6. Данные операции повторяются с различными начальными выборками из спектра непрерывного D-оптимального плана, и выбирается план, в наибольшей степени удовлетворяющий критерию D – оптимальности.

В результате многократного проведения предлагаемой процедуры построения точных D-оптимальных планов будет получена последовательность планов, удовлетворяющих неравенствам

$$\left| M(\varepsilon^0(N)) \right| \leq \left| M(\varepsilon^1(N)) \right| \leq \dots \leq \left| M(\varepsilon^s(N)) \right|.$$

Сходимость данной последовательности вытекает из существования верхней границы, равной определителю информационной матрицы точного оптимального плана.

Далее должно быть выполнено уточнение положения найденных точек плана $\varepsilon^s(N)$. Для этого выполняется следующая процедура.

1. В качестве начального плана ε_0 выбирается план $\varepsilon^s(N)$, содержащий точки x_i , $i=1,2,\dots,N$, отобранные из спектра непрерывного D-оптимального плана на предыдущем этапе процедуры.

2. Для каждой точки x_i , $i=1,2,\dots,N$ плана ε_0 выполняется поиск точки x_i^* , в которой имеется локальный максимум определителя

$$\max_{x \in Q_x} \left| M(\varepsilon_0) - f(x_i)f^T(x_i) + f(x_i^*)f^T(x_i^*) \right|.$$

3. Для каждой точки полученного плана ε_1 выполняются действия пункта 2 процедуры.

4. Перечисленные действия продолжаются, пока наблюдается увеличение определителя информационной матрицы.

Заметим, что предложенная процедура построения точного D-оптимального плана не связана с ограничениями на пространство планирования и может использоваться для планирования эксперимента в традиционной постановке.

Библиографический список

1. Айвазян С.А. Основы эконометрики. – М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 432 с.
2. Введение в теорию планирования эксперимента: учеб. пособие / Н. И. Сидняев, Н. Т. Вилисова. - М. : Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2011. - 463 с.
3. Городничева, Е. В. Планирование эксперимента при ограничениях на функцию отклика / Е. В. Городничева, М. В. Ленков М.В., Ю. А. Сосулин // Методы и средства обработки и хранения информации: межвузовский сборник научных трудов. – Рязань, 2024. – С.141-145.

УДК 658.562.3; ГРНТИ 50.43

СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ СТАНЦИИ ПО ПЕРЕКАЧКЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ SCADA

Н.М. Хлебников, М.В. Ленков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, lenkov.m.v@rsreu.ru*

Аннотация. В работе рассматривается концептуальная модель и архитектура системы диспетчеризации автоматизированного управления технологическим комплексом (ТК) станции по перекачке нефтепродуктов (НП) на базе SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Представлены ключевые аспекты интеграции компонентов системы, особенности реализации и преимущества внедрения таких систем для обеспечения безопасной, эффективной и надежной работы нефтеперекачивающих станций. Рассмотрена схема связи технологического объекта с диспетчерской на основе платформы SCADA, приведены основные, необходимые для реализации компоненты.

Ключевые слова: диспетчеризация, нефтеперекачивающая станция (НПС), платформа SCADA, программируемый логический контроллер (ПЛК), автоматизация контроля и управления.

DISPATCHING SYSTEM FOR AUTOMATED CONTROL OF THE TECHNOLOGICAL COMPLEX OF THE STATION FOR PUMPING PETROLEUM PRODUCTS BASED ON THE SCADA PLATFORM

N.M. Khlebnikov, M.V. Lenkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, lenkov.m.v@rsreu.ru*

The summary. The paper considers the conceptual model and architecture of the dispatching system for automated control of the technological complex of a petroleum product pumping station based on SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). The key aspects of the integration of system components, implementation features and advantages of implementing such systems to ensure safe, efficient and reliable operation of oil pumping stations are presented. The communication scheme of a technological facility with a control room based on the SCADA platform is considered, and the main components necessary for implementation are given

Keywords: dispatching, oil pumping station (NPS), SCADA platform, programmable logic controller (PLC), automation of monitoring and control.

Введение

Перекачка нефтепродуктов на промышленных объектах требует высокой точности, надежности и своевременного реагирования на аварийные ситуации. Технологические процессы на станциях по перекачке НП характеризуются сложной автоматизацией, включающей управление насосами, измерение расхода, уровня, давления, контроль за состоянием оборудования и температурным режимом.

В условиях использования на предприятиях современного нефтяного комплекса обеспечение безопасной и эффективной эксплуатации технологических объектов является приоритетной задачей. Особенно важна надежная автоматизация процессов перекачки нефтепродуктов, которая позволяет повысить производительность, снизить риски аварийных ситуаций и обеспечить строгий контроль за состоянием оборудования. В этом контексте системы диспетчеризации, основанные на концепциях автоматизированного управления и программных решений SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), выступают ключевым инструментом для интеграции эксплуатационных процессов. Системы диспетчеризации на базе платформы SCADA играют важную роль, обеспечивая централизованный контроль и управление с минимальным участием человека. Рассмотрим структуру и функции системы диспетчеризации автоматизированного управления технологическим комплексом станции по перекачке нефтепродуктов на базе современных SCADA-технологий, а также ее преимуще-

ства и возможности для повышения эффективности и безопасности работы нефтеперекачивающего узла.

Основные принципы и задачи системы диспетчеризации

Основной целью системы диспетчеризации является обеспечение [1]:

- постоянного мониторинга состояния технологического оборудования;
- автоматизированного регулирования технологических параметров;
- быстрого обнаружения и реагирования на аварийные и аварийные ситуации;
- сохранения целостности технологического процесса и безопасности персонала.

Задачи системы диспетчеризации включают сбор, обработку и визуализацию данных, автоматическое и дистанционное управление оборудованием, а также ведение архива событий для последующего анализа.

Основные задачи SCADA систем:

- Сбор и обработка данных: обеспечение непрерывного мониторинга параметров технологических процессов, состояний оборудования, окружающей среды.
- Реагирование на события: автоматическое или ручное реагирование на тревожные сигналы, аварийные ситуации или отклонения в работе оборудования.
- Оптимизация эксплуатационных процессов: анализ собранных данных для повышения эффективности, снижения затрат и повышения надёжности работы системы.
- Хранение архивных данных: создание истории событий, параметров и действий для последующего анализа, отчетности и принятия решений.
- Обеспечение безопасности и надёжности: контроль целостности данных, защита от несанкционированного доступа и сбои в работе системы.

Архитектура системы диспетчеризации на базе SCADA

Архитектура системы диспетчеризации состоит из следующих компонентов [1]:

1. Полевой уровень.

В его состав входят измерительные и исполнительные устройства (датчики давления, расхода, температуры, уровней, клапаны, насосы), которые обеспечивают сбор первичных данных и выполнение команд управления.

2. Контроллеры и интерфейсы связи

В его состав входят промышленные контроллеры PLC и RTU, конвертеры протоколов, предназначенные для локальной обработки данных и их передачи к верхним уровням системы.

3. Средний уровень (диспетчерская подсистема)

В его состав входят серверы SCADA, программное обеспечение для отображения данных операторам, алгоритмы автоматического регулирования, тревожные и аварийные сообщения, архивирование данных.

4. Верхний уровень (дистанционное управление и аналитика)

В его состав входят информационные системы для аналитики, планирования и принятия решений, интеграция с корпоративной системой управления.

Основные аспекты SCADA систем

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) системы – это автоматизированные системы управления и сбора данных, используемые для мониторинга и управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности. Принципы их работы включают следующие основные аспекты [2]:

1. Децентрализованная архитектура: SCADA системы используют распределенную структуру, которая включает центральный диспетчерский пункт и множество удаленных устройств (параметровых датчиков, контроллеров, исполнительных устройств).

2. Сбор и обработка данных: Сенсоры и датчики собирают данные о состоянии технологических процессов, которые передаются к центральной системе. Эти данные обрабатываются, что позволяет строить модели и анализировать текущую ситуацию.

3. Передача данных по коммуникациям: Используются различные протоколы связи (например, Ethernet, RF, модемы), для передачи собранных данных и команд управления в реальном времени. Надежность и безопасность передачи критичны для функционирования системы.

4. Мониторинг и отображение информации: Операторы получают визуальный интерфейс (графические дисплеи, панель управления), который показывает актуальные параметры и состояния оборудования, а также позволяет принимать оперативные решения.

5. Автоматизация и управление: SCADA системы позволяют автоматизировать рутинные процессы и управление оборудованием, инициировать автоматические или ручные команды на основе собранных данных и заданных алгоритмов

6. Соответствие стандартам и надежность: Важным принципом является надежная работа системы, защищенность данных и обеспечение отказоустойчивости, а также соответствие промышленным стандартам по безопасности и совместимости.

7. Историзация данных: Собранные данные сохраняются для последующего анализа, отчетности и оптимизации технологических процессов.

Эти принципы позволяют обеспечить эффективное, надежное и безопасное управление технологическими системами в реальном времени.

Реализация системы диспетчеризации для НПС

Основные этапы реализации диспетчеризации для НПС включают:

– Проектирование и настройка архитектуры. Выбор подходящих протоколов связи (Modbus, OPC, DNP3, IEC 61850), настройка контроллеров и серверов SCADA.

– Интеграция оборудования. Калибровка датчиков, настройка исполнительных механизмов, тестирование связи.

– Разработка интерфейсов для операторов. Создание визуальных панелей, сценариев аварийного реагирования, автоматических режимов управления.

– Обеспечение безопасности и отказоустойчивости. Внедрение резервных каналов связи, систем резервирования, протоколов защиты данных.

Внедрение систем диспетчеризации нефтеперерабатывающих установок на базе SCADA позволяет добиться следующих преимуществ:

– Повышение надежности. Постоянный контроль состояния оборудования позволяет своевременно обнаруживать неисправности и предупреждать аварийные ситуации.

– Автоматизация процессов. Уменьшается необходимость вмешательства человека, сокращаются операционные расходы.

– Повышение безопасности. Быстрый отклик на аварийные ситуации снижает риск экологических и технологических катастроф.

– Аналитические возможности. Архивирование данных и их последующий анализ повышают качество планирования и оптимизации технологических процессов.

Связь объекта контроля с диспетчерской

Схема соединения объекта контроля с диспетчерской на основе SCADA должна включать следующие компоненты и этапы [2]:

1. Датчики и исполнительные устройства, которые:

- устанавливаются на объекте (например, на оборудовании, технологических линиях, сооружениях);
 - собирают параметры процесса (температуру, давление, уровень, расход и т.д.) и выполняют команды управления.
2. Контроллеры (RTU или PLC), которые:
- получают сигналы с датчиков;
 - обрабатывают и преобразуют данные, а также выполняют локальное управление оборудованием;
 - передают данные далее по каналам связи.
3. Канал связи, который:
- обеспечивает передачу данных между контроллерами и центральной системой SCADA;
 - выполняется на основе Ethernet, радиоканалов, линий связи, GSM/3G/4G или спутниковой связи, в зависимости от условий и расположения объекта.
4. Сервер/ПК SCADA, который:
- располагается в структуре центрального узла, где расположена управляющая система;
 - получает и отображает данные в режиме реального времени, хранит исторические данные, реализует интерфейс оператора;
 - отправляет управляющие команды через канал связи к контроллерам.
5. Интерфейс оператора, который:
- определяет рабочие места диспетчеров (мониторы, панели оператора);
 - позволяет контролировать состояние объекта, запускать аварийные или управляемые операции.
6. Дополнительные компоненты.
- Сюда входят аппаратные средства: модемы, шлюзы, средства обеспечения безопасности (шифрование, firewall) и резервные линии связи для повышения отказоустойчивости.
- В общем виде схема диспетчеризации технологической установки представлена на рисунке 1.

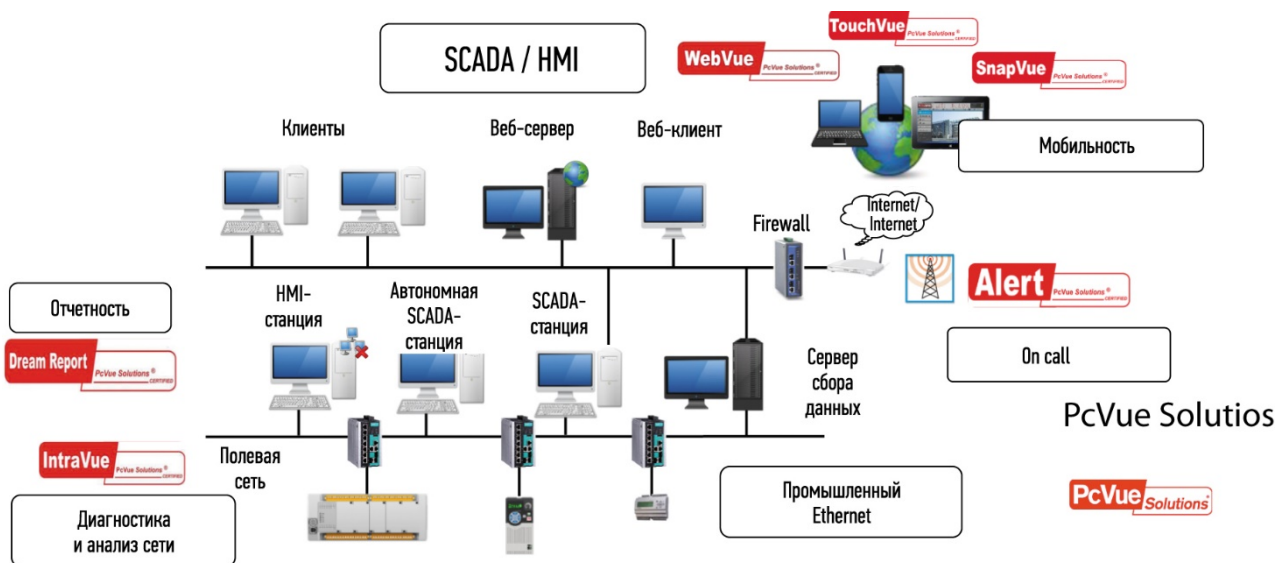


Рис. 1 Схема соединения технологического объекта и диспетчерской на основе SCADA

Такая схема обеспечивает надежное взаимодействие между технологическим объектом и диспетчерской для эффективного мониторинга и управления процессами.

Заключение

Использование систем диспетчеризации на базе SCADA при управлении технологическими комплексами станций по перекачке нефтепродуктов существенно повышает эффективность, безопасность и надежность эксплуатации. Современные решения требуют комплексного подхода к проектированию, интеграции оборудования и обеспечению информационной безопасности. Внедрение таких систем способствует достижению стратегических целей нефтеперерабатывающих предприятий и повышению их конкурентоспособности.

Библиографический список

1. Иванов, А. А. Автоматизация технологических процессов и производств : учебное пособие / А. А. Иванов. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Форум : Инфра-М, 2023. – 223 с.
2. Каляев, И. А., Каляев, А. И., Коровин, Я. С. Принципы организации и функционирования безлюдного роботизированного производства с децентрализованным диспетчером – Журнал Мехатроника, автоматизация, управление, Том 17, № 11 (2016).

УДК 658.562.3; ГРНТИ 50.43

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ПРЕДПРИЯТИЯ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИЙ IIOT

А.С. Дунин, М.В. Ленков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, lenkov.m.v@rsreu.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются методологические и технические аспекты построения автоматизированной системы диспетчеризации технических средств противопожарной защиты (ТСПЗ) промышленного предприятия на основе технологий интернета вещей (IIoT). Предлагается комплексный подход к проектированию, включающий системную интеграцию, многоуровневую архитектуру, обеспечение отказоустойчивости и кибербезопасности. Обоснована целесообразность перехода от локально функционирующих противопожарных систем к централизованной цифровой платформе мониторинга и управления. Показано, что внедрение IIoT-технологий позволяет реализовать функции предиктивной диагностики, централизованной аналитики и интеллектуального реагирования на чрезвычайные ситуации.

Ключевые слова: технология интернет вещей IIoT, промышленная безопасность, автоматизированная система диспетчеризации, противопожарная защита, SCADA, кибербезопасность, предиктивная аналитика.

AN INTEGRATED APPROACH TO THE DESIGN OF AN AUTOMATED DISPATCHING SYSTEM FOR TECHNICAL FIRE PROTECTION EQUIPMENT BASED ON IIOT TECHNOLOGIES

A.S. Dunin, M.V. Lenkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, lenkov.m.v@rsreu.ru*

The summary. The article discusses the methodological and technical aspects of building an automated dispatching system for fire protection equipment (TSPZ) of an industrial enterprise based on Internet of Things (IIoT) technologies. An integrated design approach is proposed, including system integration, multi-level architecture, fault tolerance and cybersecurity. The expediency of the transition from locally functioning fire protection systems to a centralized digital monitoring and management platform is substantiated. It is shown that the introduction of IIoT technologies makes it possible to implement the functions of predictive diagnostics, centralized analytics and intelligent emergency response.

Keywords: Internet of Things IIoT technology, industrial safety, automated dispatch system, fire protection, SCADA, cybersecurity, predictive analytics.

Введение

Обеспечение пожарной безопасности на промышленных предприятиях является одной из приоритетных задач системы управления производственными рисками. Современные технические средства противопожарной защиты (пожарная сигнализация, автоматические установки пожаротушения, системы дымоудаления и оповещения) функционируют, как правило, в рамках отдельных подсистем, что затрудняет централизованный мониторинг и анализ их состояния.

Развитие концепции интернета вещей (IIoT) формирует возможность для интеграции распределённых датчиков, исполнительных механизмов и программных платформ в единую информационную среду. Это позволяет реализовать переход от реактивной модели реагирования к проактивной модели управления рисками [2].

Целью настоящей работы является разработка комплексного подхода к проектированию автоматизированной системы диспетчеризации ТСПЗ предприятия на базе IIoT-технологий с учётом требований надёжности, масштабируемости и информационной безопасности.

Методологические основы комплексного проектирования систем управления инженерным оборудованием на основе IIoT

Комплексный подход предполагает системное рассмотрение объекта защиты как совокупности взаимосвязанных технических, информационных и организационных компонентов.

Основными принципами проектирования являются:

1. Системная интеграция – объединение ТСПЗ с корпоративными информационными системами и системами промышленной автоматизации.
2. Модульность архитектуры – возможность поэтапного внедрения и расширения.
3. Отказоустойчивость – обеспечение непрерывности функционирования при отказах отдельных элементов.
4. Информационная безопасность – защита от несанкционированного доступа и киберугроз.
5. Масштабируемость – адаптация к росту производственных мощностей и расширению инфраструктуры.

Проектирование осуществляется на основе анализа рисков, категорирования помещений и оценки вероятных сценариев развития пожара.

Архитектура автоматизированной системы диспетчеризации

Предлагаемая архитектура включает три функциональных уровня: полевой, уровень передачи данных и уровень централизованного управления [1]. Условно ее можно представить в виде структуры на рисунке 1.

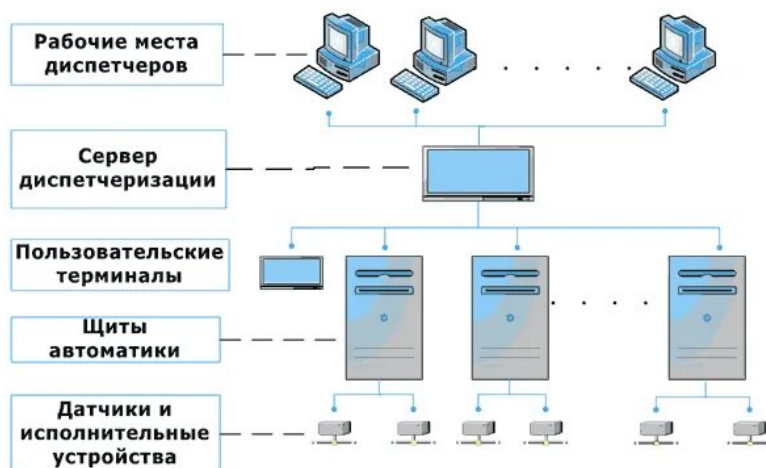


Рис. 1 Структура системы диспетчеризации

Полевой уровень. На данном уровне размещаются:

- Пожарные извещатели (дымовые, тепловые, комбинированные);
- Датчики концентрации газов;
- Модули автоматического пожаротушения;
- Насосные станции;
- Контроллеры управления системами дымоудаления;
- Источники бесперебойного питания.

Каждое устройство оснащается интерфейсом подключения к ИТ-среде либо интегрируется через промышленный контроллер (PLC). Сбор телеметрической информации осуществляется в режиме реального времени.

Уровень сбора и передачи данных. Данный уровень реализуется с использованием:

- Промышленных контроллеров;
- ИТ-шлюзов;
- Стандартных протоколов передачи данных (Modbus TCP, OPC UA, MQTT);
- Защищённых каналов связи с применением VPN и TLS.

На этом уровне осуществляется агрегация и нормализация данных, первичная фильтрация ложных сигналов буферизация при потере связи, передача информации в центр обработки.

Уровень централизованного управления. Центральный уровень включает:

- Сервер приложений;
- Базу данных событий;
- SCADA-платформу;
- Аналитический модуль;
- Автоматизированные рабочие места диспетчеров.

Функциональные возможности:

1. Визуализация состояния ТСПЗ в реальном времени;
2. Автоматическое формирование тревожных сообщений;
3. Ведение журнала событий;
4. Построение отчётности;
5. Предииктивная диагностика на основе накопленных данных.

Обеспечение надёжности и информационной безопасности ИТ-систем

С учётом критичности противопожарных систем проектирование должно предусматривать:

- Резервирование серверной инфраструктуры;

- Дублирование каналов связи;
- Использование кластерных решений;
- Автономный режим работы локальных контроллеров при потере связи с центром;
- Регулярное тестирование сценариев аварийного реагирования.

Математическая оценка надёжности системы может осуществляться на основе теории вероятностей и анализа отказов (FMEA).

Интеграция противопожарных средств в цифровую инфраструктуру предприятия увеличивает поверхность киберрисков [3]. Для минимизации угроз применяются следующие меры:

- Сегментация сети;
- Применение межсетевых экранов;
- Шифрование трафика;
- Многофакторная аутентификация;
- Централизованный аудит действий пользователей;
- Регулярное обновление программного обеспечения.

Особое внимание уделяется защите критических узлов, обеспечивающих запуск исполнительных механизмов пожаротушения [4].

Внедрение автоматизированной системы диспетчеризации на базе IIoT позволяет сократить время реагирования на инциденты, снизить вероятность ложных срабатываний, уменьшить затраты на регламентное обслуживание за счёт предиктивной диагностики, повысить прозрачность процессов, обеспечить соответствие нормативным требованиям промышленной безопасности.

Экономический эффект достигается за счёт снижения простоев производства и уменьшения ущерба от возможных пожаров.

Перспективными направлениями развития инженерных систем управления, спроектированных с применением технологии интернета вещей, являются внедрение алгоритмов машинного обучения для прогнозирования отказов, создание цифровых двойников объектов защиты, интеграция с системами видеонаблюдения и контроля доступа, а также использование облачных аналитических платформ.

Библиографический список

1. Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J., & Watson, T. (2018). The Industrial Internet of Things (IIoT): An analysis framework. *Computers in Industry*, 101, 1–12.
2. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23.
3. ISO/IEC 30141:2018. Internet of Things (IoT) – Reference Architecture. International Organization for Standardization.
4. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.

УДК 658.512.2; ГРНТИ 50.51

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ СО СЛОЖНОПРОФИЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ В СРЕДЕ САПР T-FLEX CAD И ADEM CAM

И.А. Тарудько, М.В. Ленков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, lenkov.m.v@rsreu.ru*

Аннотация. В современном машиностроении одной из ключевых задач является повышение эффективности подготовки производства изделий со сложной геометрией. Корпусные детали, имеющие высокую трудоемкость изготовления и сложную пространственную конфигурацию, требуют применения специализированных CAD/CAM-систем. В данной статье рассматривается методика проектирования технологического процесса механической обработки корпусной детали с использованием интегрированного подхода на базе САПР T-Flex CAD для твердотельного моделирования и ADEM CAM для разработки управляющих программ для станков с ЧПУ. Описаны этапы создания 3D-модели, технологического анализа, генерации траекторий обработки и верификации, а также приведена оценка экономической эффективности предложенного подхода.

Ключевые слова: системы автоматизированного проектирования, корпусная деталь, технологический процесс, оборудование с числовым программным управлением.

PROCESS DESIGN FOR AUTOMATED PRODUCTION OF BODY PARTS WITH COMPLEX GEOMETRY IN THE T-Flex CAD AND ADEM CAM ENVIRONMENT

I.A. Tarudko, M.V. Lenkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, lenkov.m.v@rsreu.ru*

The summary. In modern mechanical engineering, one of the key tasks is to increase the efficiency of pre-production of products with complex geometries. Body parts with high manufacturing complexity and complex spatial configuration require the use of specialized CAD/CAM systems. This article discusses a technique for designing the technological process of machining a body part using an integrated approach based on CAD T-Flex CAD for solid-state modeling and ADEM CAM for developing control programs for CNC machines. The stages of creating a 3D model, technological analysis, generation of processing and verification trajectories are described, as well as an assessment of the economic efficiency of the proposed approach.

Keywords: computer-aided design systems, body part, technological process, equipment with numerical control.

Введение

Корпусные детали составляют основу большинства современных машин и механизмов, выполняя функции базирования и обеспечения точности взаимного расположения узлов. Их конструкция, как правило, включает в себя сочетание плоскостей, точных отверстий, пазов, карманов и фасонных поверхностей (сложнопрофильная геометрия). Традиционные методы проектирования технологии обработки таких деталей на универсальном оборудовании крайне трудоемки и не обеспечивают необходимой производительности и точности [1].

Переход на автоматизированное производство с использованием оборудования с ЧПУ невозможен без применения современных CAD/CAM-систем. Выбор программного обеспечения играет ключевую роль. T-Flex CAD (трехмерное параметрическое моделирование) и ADEM CAM (проектирование технологических процессов и управляющих программ) представляют собой интегрированную платформу, ориентированную на сквозную подготовку производства, что особенно актуально для российских машиностроительных предприятий.

Целью данной работы является разработка и описание эффективной методики проектирования технологического процесса изготовления корпусной детали со сложнопрофильной геометрией в интегрированной среде T-Flex CAD / ADEM CAM.

Анализ конструкторско-технологических особенностей корпусной детали

Объектом исследования выбрана корпусная деталь, 3D-модель которой представлена на рисунке 1. Деталь характеризуется симметричностью относительно вертикального сечения, а также такими особенностями как:

- Наличие основной базовой плоскости и нескольких установочных поверхностей, расположенных на разных уровнях, что позволяет более удобно формировать установку заготовки для этапов фрезерной обработки в продольной оси изделия;
- Наклонные конструктивные элементы (бобышки) требуют либо применения угловых головок, либо обработки за несколько установов (поворотов детали), либо 5-координатной обработки, что значительно ускорит процесс обработки;
- Внутренние ребра жесткости создают трудности при обработке из-за ограниченного доступа инструмента и риска вибраций (тонкостенные элементы);
- Система точных отверстий с допусками формы по круглости и соосности, расположенных как в основных плоскостях, так и на наклонных поверхностях;
- Внутренние полости, уступы, пазы и карманы сложной формы.

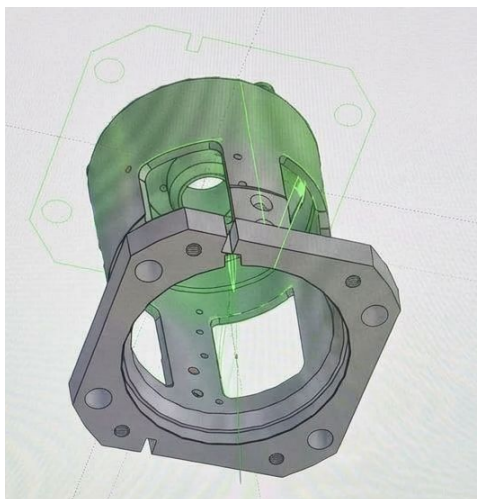


Рис. 1 Корпусная деталь

Проектирование заготовки и разработка маршрута обработки

На основе 3D-модели детали в T-Flex CAD проектируется модель заготовки [1]. Для данной детали оптимальным вариантом является литье (для приближения формы заготовки к форме детали и экономии материала) либо заготовка из проката (прямоугольный блок) для опытного производства. С помощью булевых операций создается твердотельная модель заготовки, что позволяет в дальнейшем в САМ-системе автоматически определить припуски на обработку.

Маршрутный технологический процесс разрабатывается с учетом возможностей имеющегося парка станков. Для обработки наклонных бобышек наиболее рациональным является использование 5-осевого обрабатывающего центра или 3-осевого станка с поворотным столом.

Основные этапы обработки включают:

1. Фрезерование базовой плоскости.

2. Черновая обработка контура и внутренних полостей (удаление основной массы припуска, обход ребер жесткости).
3. Обработка наклонных бобышек. Одновременная 5-осевая обработка (или позиционная обработка с поворотом стола) для получения точных поверхностей.
4. Чистовая обработка ответственных базовых плоскостей и сложных поверхностей.
5. Обработка точных отверстий (сверление, зенкерование, развертывание, растачивание) с учетом их ориентации в пространстве.

Конструкторско-технологическая подготовка в среде T-Flex CAD

T-Flex CAD является базовым звеном в цепочке сквозного проектирования, отвечающим за создание и подготовку геометрической модели для последующей обработки [1]. Работа в T-Flex CAD на данном этапе включает следующие ключевые процессы:

1. **Параметрическое 3D-моделирование.** Создание твердотельной модели детали с учетом всех конструктивных особенностей. Путём начертания двумерных контуров на рабочих плоскостях строятся точный (идеальные, без учёта полей допусков размеров) эскиз будущей геометрии. Для предания объёма применяются операции «выталкивание, булева-вычитание, булева-сложение, вращение и т.д.». Так при помощи операции вращение по оси, применяя к контуру основного вида корпусного изделия можно добиться профиля со множеством уступов, канавок (рисунок 2). Используются операции «отверстие» - для формирования нужного вида отверстий, скругления – для сглаживания углов по радиальной составляющей.

2. **Конструкторско-технологический анализ.** Встроенные модули T-Flex CAD позволяют автоматически распознавать конструктивно-технологические элементы (КТЭ), такие как отверстия, пазы, карманы, резьбы. Это создает основу для полуавтоматического проектирования технологии. Анализируются проблемные зоны: доступность инструмента к внутренним ребрам жесткости, минимальные радиусы скруглений в углах карманов.

3. **Проектирование заготовки.** Путем булевых операций (вычитание модели детали из исходного тела) создается 3D-модель заготовки, что позволяет точно рассчитать припуски и массу исходной заготовки.

4. **Подготовка данных для передачи в САМ.** Формирование набора геометрических данных (поверхностей, кривых, граней), необходимых для назначения траекторий обработки. Благодаря тесной интеграции с АДЕМ, передача данных осуществляется напрямую через внутренний формат, что исключает ошибки конвертации и потерю геометрической точности, критически важную для обработки наклонных поверхностей.

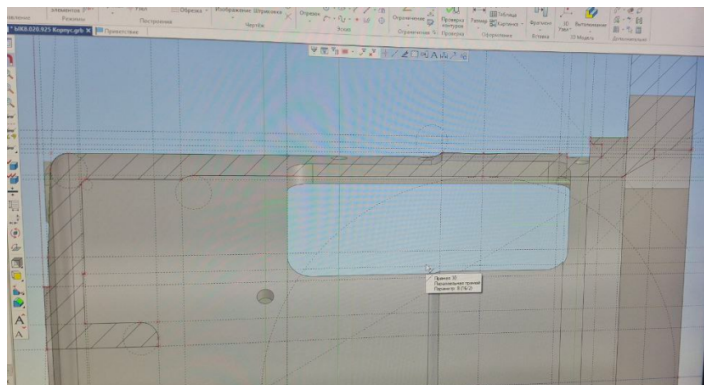


Рис. 2 Проектирование 2D профиля детали в САПР

Таким образом, T-Flex CAD выполняет функцию не просто "эскизного рисования", а полноценного инструмента технологической подготовки, предоставляя САМ-системе максимально полную и корректную информацию о детали и заготовке.

Разработка управляющих программ в среде ADEM CAM для детали со сложным рельефом

ADEM CAM является ключевым звеном в реализации технологического процесса, непосредственно отвечая за генерацию управляющих программ (УП) для станков с ЧПУ. Получив геометрическую модель из T-Flex CAD, ADEM CAM обеспечивает полный цикл технологической подготовки [2].

Процесс разработки УП в ADEM CAM включает несколько этапов:

- **Импорт и подготовка геометрии.** Бесшовный импорт модели из T-Flex CAD. При необходимости, доопределение технологических границ, защитных плоскостей и зон обработки.

- **Назначение технологии и инструмент.** Для каждого технологического перехода (черновая обработка, чистовая обработка сложных поверхностей, сверление отверстий) выбирается обрабатываемая геометрия. Из обширной библиотеки ADEM CAM назначается режущий инструмент (для глубоких полостей и ребер жесткости подбираются фрезы с удлиненной шейкой), задаются режимы резания (подача, скорость, глубина резания, шаг между проходами).

- **Генерация траекторий (расчет УП).** Для сложнопрофильных поверхностей данной корпусной детали используются специализированные стратегии ADEM CAM: Черновая обработка - стратегия Z-level (послойная обработка) с оптимизированным врезанием вне зоны тонких ребер для исключения поломок. Обработка наклонных бобышек - стратегия параллельной обработки (Parallel Planes) с наклоном инструмента (если используется 5-осевой станок) или позиционная обработка с фиксированным поворотом стола. Чистовая обработка сложных поверхностей - параметрическая обработка (по линиям уровня, по направляющим) для получения высокого качества поверхности (Ra 1.25...2.5) на криволинейных участках бобышек и ребер. Обработка отверстий - автоматическое распознавание и обработка всех отверстий, включая наклонные, с применением стандартных циклов сверления, зенкерования, развертывания и растачивания.

- **Визуализация и верификация.** Критически важный этап, позволяющий избежать брака. ADEM CAM выполняет 3D-симуляцию обработки, проверяя траектории на отсутствие столкновений инструмента (особенно длинного инструмента при обработке ребер) с зажимными приспособлениями и стенками детали. Твердотельная верификация контролирует съем материала и выявляет зоны недорубов.

- **Постпроцессирование.** Генерация итогового управляющего кода (G-кода) для конкретной модели станка с ЧПУ и системы управления (Heidenhain, Fanuc, Siemens и т.д.). Для обработки наклонных бобышек используется постпроцессор, поддерживающий 5-осевую обработку или работу с поворотным столом, обеспечивающий работу в 5-ти координатах.

Применение ADEM CAM позволяет не только создать УП, но и оптимизировать её с точки зрения минимизации времени обработки и износа инструмента.

Разработанная двухэтапная методика проектирования технологического процесса в интегрированной среде T-Flex CAD (конструкторско-технологический анализ) и ADEM CAM (генерация управляющих программ) позволяет эффективно решать задачи автоматизированного производства корпусных деталей со сложнопрофильной геометрией, включая такие проблемные элементы, как наклонные бобышки и внутренние ребра жесткости. Параметрическая связь конструкторской и технологической моделей обеспечивает высокую адаптивность производства к изменениям конструкции, а мощный инструментарий ADEM CAM – генерацию безошибочных и оптимизированных управляющих программ. Предложенный

подход рекомендуется к внедрению на машиностроительных предприятиях, ориентированных на выпуск высокоточной и наукоемкой продукции.

Библиографический список

1. Кондаков А.И. САПР технологических процессов: учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 272 с.
2. Система ADEM. Руководство по разработке управляющих программ для станков с ЧПУ. – М.: Omega ADEM Technologies Ltd., 2022.

УДК 004.021; ГРНТИ 28.29

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.В. Котов¹, Е.В. Бобро², В.А. Немтинов²

¹Новолипецкий металлургический комбинат,

Российская Федерация, г. Липецк, fraservlk@gmail.com

²Тамбовский Государственный технический университет,

Российская Федерация, Тамбов, ezlobin142@mail.ru; nemtinov.va@yandex.ru

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы совершенствования методики контроля качества функционирования станочного оборудования. Она направлена на унификацию процесса контроля качества работы оборудования, включая процедуры измерения деталей, оценку геометрической точности станков, проверку рабочих условий цеха и состояния самого оборудования. В частности, она включает: поэтапный контроль, начиная от опроса оператора, визуального осмотра и заканчивая инструментальной оценкой характеристик станка. Особое внимание уделено минимизации документальной нагрузки сотрудников путем внедрения простых форм отчетности, позволяющих фиксировать важные диагностические данные без значительного отвлечения рабочего времени специалистов.

Ключевые слова: станочное оборудование; техническое обслуживание; производительность; контроль проверки качества; метролог; деталь; геометрическая точность; стандартизация.

IMPROVEMENT OF QUALITY CONTROL METHODS FOR THE FUNCTIONING OF MACHINE TOOLS

V.V. Kotov¹, E.V. Bobro², V.A. Nemtinov²

¹Novolipetsk Metallurgical Combine, Russian Federation, Lipetsk, fraservlk@gmail.com

²Tambov State Technical University, Russian Federation, Tambov, ezlobin142@mail.ru; nemtinov.va@yandex.ru

The summary. The work addresses issues related to improving the methodology for quality control of machine tool operation. It aims at standardizing the process of equipment performance monitoring, including measurement procedures for parts, evaluation of geometric accuracy of machines, verification of workshop working conditions, and assessment of the state of the machinery itself. Specifically, it includes a step-by-step inspection process that begins with operator interviews and visual inspections, culminating in instrumental assessments of machine characteristics. Special attention is given to minimizing administrative burden on employees by introducing simple reporting forms that allow recording important diagnostic data without significantly distracting specialists' time from their main tasks.

Keywords: machine tools; maintenance; productivity; quality control; metrology; detail; geometric accuracy; standardization.

На данный момент на отечественных производственных предприятиях сервисное обслуживание оборудования регламентировано внутренними актами, которые составляются главными технологами, руководителями сервисной службы, поставляются вместе с оборудованием или в целом отсутствуют за исключением «Графика технического обслуживания», во время которого сервисный состав производства проверяет лишь основные показатели оборудования, что в свою очередь при долгосрочном использовании приводит к раннему износу узлов, браку, а в некоторых случаях и поломкам станочного парка заводов.

С целью решения этой проблемы и минимизации разрозненности стандартов проверки оборудования авторами предложено собственную систему оценки, которая будет работать в роли модифицируемого шаблона и не допустит разрозненности вне зависимости от типа станка, так как является лишь базой для построения, которая может изменяться, а не чётким планом которого должны придерживаться.

При разработке актов об отчетах также стоит учитывать, что излишняя бумажная нагрузка, а именно наличие отчётов о проделанной работе, может снизить её продуктивность за счёт времени, которое придётся тратить сотруднику на их формирование, а значит требуется упрощение отчётов до условных опросников, что максимально снизит загруженность сервисного персонала (в сравнении с другими методами формирования отчётности) и при этом позволит оставить формирование документации которая позволит сохранить информацию о проблемах, недостатках связанными с оборудованием. Чтобы в случае возникновения аварийных ситуаций со станком, кому бы не поручили их решение, ему в разы проще будет восстановить хронологию, а также это увеличит продуктивность работы специалиста ввиду снижения времени, которое пришлось бы тратить на повторное проведение инспекции. [1]

Краткий план проверки включает:

- 1) Опрос ответственного работника;
- 2) Оценка внешних факторов;
- 3) Проверка на соответствие требованиям оборудования;
- 4) Предварительная внешняя проверка (осмотр);
- 5) Проверка целостности узлов и агрегатов;
- 6) Проверка электрооборудования;
- 7) Проверка механики/пневматики/гидравлики;
- 8) Проверка запуска тестовой системы;
- 9) Проверка систем безопасности;
- 10) Проверка/калибровка геометрии оборудования (выставление по уровню, настройка узлов в соответствии с ГОСТ ISO 230-2-2016) [2];
- 11) Подтверждение точностных параметров.

Оператор станков, ежедневно находящийся у станка по 8 - 12 часов, замечает то, что сторонний специалист при разовом осмотре может пропустить. Речь идёт о нехарактерных вибрациях на определённых режимах, периодических сбоях, которые не фиксируются в журнале, или изменениях в поведении станка, которые пока не привели к явной поломке. В ходе опроса выясняется: случались ли за период с последней проверки аварийные остановки, срабатывания защит, нештатные ситуации. Если да – при каких обстоятельствах, на каких режимах работы, устранялась ли причина или станок просто перезапустили. Отдельно уточняются жалобы оператора: посторонние звуки (стук, скрежет, гул), запахи (горелое масло, нагретая изоляция), изменения в качестве обработки деталей. Часто оператор может сказать что-то вроде «последние две недели на чистовых проходах иногда появляется дробление» – и это уже конкретная зацепка для дальнейшей диагностики. Результаты опроса фиксируются в произвольной форме, но обязательно с датой и подписью опрашиваемого. Если выявлены серьёзные замечания – они выносятся в приоритет при дальнейшей проверке.

Этот этап часто недооценивают, хотя именно с него логично начинать любую проверку. Если в цеху течёт крыша прямо над станком или рядом работает пресс, от которого трясётся пол, то никакое обслуживание самого оборудования не даст результата – сначала нужно устранить внешние причины. Проверяется защищённость станка от атмосферных воздействий: отсутствие протечек кровли над рабочей зоной, исключение попадания осадков через ворота или окна. Даже незначительное попадание влаги на направляющие или в электрошкаф может привести к коррозии и выходу из строя электроники. Оценивается температурный режим в зоне установки станка. Большинство производителей указывают допустимый диапа-

зон температур эксплуатации – как правило, от +15 до +35°C [3]. Работа за пределами этого диапазона влияет на точность (тепловые деформации) и ресурс узлов.

Визуальный осмотр проводится на выключенном станке и является полноценным этапом диагностики. Многие неисправности проявляют себя внешне задолго до того, как станок встанет. Трещина на станине, подтёк масла из-под уплотнения, ржавчина на направляющих – всё это видно глазами, если смотреть внимательно. Осмотр начинается с общего состояния станка: наличие механических повреждений (вмятины, сколы, погнутые элементы), следы ударов, деформации защитных кожухов. Далее оценивается чистота оборудования – скопленные стружки в труднодоступных местах, замасливание поверхностей, налипшая грязь. Отдельно проверяются очаги коррозии: направляющие, шпиндель, базовые поверхности. Коррозия на направляющих – это почти гарантированное снижение точности и ускоренный износ.

При осмотре обращается внимание на посторонние предметы: забытый инструмент, обрезки материала, ветошь в рабочей зоне. Это не только признак низкой культуры производства, но и потенциальная причина аварии при запуске. Также фиксируются следы, косвенно указывающие на проблемы при работе: потёки масла нехарактерного цвета, следы перегрева (изменение цвета металла), запах горелой изоляции или масла, сохранившийся после предыдущей эксплуатации. отсутствие резких перепадов температуры и сквозняков, которые вызывают неравномерный нагрев станины.

Проверяется световой режим. Прямые солнечные лучи, падающие на станок, вызывают локальный нагрев и тепловые деформации. Для прецизионного оборудования это критично – некоторые производители прямо указывают такие условия как основание для снятия с гарантии. Оценивается вибрационный фон от соседнего оборудования. Если рядом установлены прессы, молоты, крупные станки с ударными нагрузками – вибрации передаются через пол и фундамент. Для точного оборудования это недопустимо. При подозрении на повышенный вибрационный фон проводятся замеры виброметром.

Фиксируется общая чистота рабочей зоны: отсутствие пыли, абразивных частиц в воздухе, масляного тумана от соседних станков. Загрязнённый воздух попадает в системы станка и ускоряет износ. Станок – это потребитель электроэнергии, сжатого воздуха, иногда воды и других ресурсов. Если параметры этих коммуникаций не соответствуют требованиям производителя, оборудование будет работать некорректно или выйдет из строя. Электропитание проверяется в первую очередь. Измеряется напряжение в сети – оно должно соответствовать номинальному (380 В для трёхфазного, 220 В для однофазного) с допустимым отклонением обычно не более $\pm 10\%$. Проверяется наличие всех фаз, правильность чередования фаз (для трёхфазного оборудования), отсутствие перекоса фаз. Если на предприятии есть проблемы со стабильностью напряжения – скачки, просадки при включении мощных потребителей – это фиксируется. Для прецизионного оборудования может потребоваться установка стабилизатора. Сжатый воздух проверяется по давлению и расходу. Давление в магистрали должно соответствовать требованиям станка (типичные значения 5 - 7 бар). Недостаточное давление приводит к некорректной работе пневмоцилиндров, зажимных устройств, систем обдува.

Проверяется также качество воздуха: наличие влагоотделителя и маслоотделителя на входе в станок, отсутствие конденсата в подводящих шлангах. При наличии водяного охлаждения (шпинделя, приводов) проверяются параметры воды: температура, давление, расход. Контролируется состояние фильтров в системе охлаждения. Все измеренные параметры заносятся в контрольный лист с указанием номинальных значений по документации и фактических значений по результатам замеров [4].

Электрическая часть станка требует особого внимания, поскольку неисправности здесь могут привести не только к поломке оборудования, но и к травмам персонала. Проверка начинается с внешнего осмотра кабелей и проводов: целостность изоляции, отсутствие

перегибов, потёртостей, оплавленных участков. Кабели в гибких кабель-каналах проверяются на предмет износа в местах постоянного изгиба. Электрошкаф открывается и осматривается изнутри. Здесь контролируется: состояние автоматических выключателей, УЗО, реле (все должны быть во включённом положении, если иное не предусмотрено), отсутствие следов нагрева на контактах и клеммах (потемнение, оплавление), наличие конденсата или следов сырости. Сырость в электрошкафу – серьёзная проблема, требующая немедленного устранения причины [5]. Отдельно осматриваются модули ЧПУ и приводов: отсутствие видимых повреждений, состояние вентиляторов охлаждения, наличие пыли на платах и радиаторах. Пыль на электронных компонентах – частая причина перегрева и выхода из строя дорогостоящей электроники.

Механика станка – это его «скелет», и состояние механических узлов напрямую определяет точность и надёжность работы. Осматриваются направляющие (задиры, износ, качество смазки), подшипниковые узлы, элементы привода подачи (шарики-винтовая передача (ШВП), зубчатые рейки, ремни). Защитные кожухи проверяются на целостность и надёжность крепления. Повреждённый кожух – это не только эстетика, но и безопасность: он защищает оператора от разлетающейся стружки и СОЖ, а механизмы станка – от попадания посторонних предметов. При возможности проверяются люфты в механических передачах вручную (покачиванием). Ощутимый люфт в ШВП или редукторе – сигнал о необходимости регулировки или замены узла.

Результаты детальной Ballbar диагностики станка Volumetric examples в программе Renishaw приведены на рисунке 1.

Названия ошибок		Значения		Вклад в отклонение от круглости		Рейтинг значимости ошибки
Люфт X	+ 1,5	+ 2,3мкм	2,3мкм	(17%)	(2)	
Люфт Y	+ 1,4	+ 0,7мкм	1,4мкм	(10%)	(3)	
Выбросы обратного хода X	+ 1,3	+ 1,2мкм	1,3мкм	(9%)	(4)	
Выбросы обратного хода Y	+ 0,2	+ 0,8мкм	0,8мкм	(6%)	(8)	
Боковой люфт X	+ 0,3	+ 0,3мкм	0,2мкм	(1%)	(12)	
Боковой люфт Y	+ 0,2	+ 0,0мкм	0,1мкм	(1%)	(13)	
Циклическая ошибка X	+ 0,9	+ 0,7мкм	0,9мкм	(7%)	(6)	
Циклическая ошибка Y	+ 0,7	+ 0,7мкм	0,7мкм	(5%)	(10)	
Расхождение приводов	-0,05нс		0,9мкм	(6%)	(7)	
Отклонение от перпендикулярности	31,0мкм/м		3,1мкм	(22%)	(1)	
Отклонение от прямолинейности X	-1,5мкм		0,7мкм	(5%)	(9)	
Отклонение от прямолинейности Y	-1,0мкм		0,5мкм	(3%)	(11)	
Расхождение шкал	-2,1мкм		1,0мкм	(7%)	(5)	
Шаг циклической ошибки X	12,0000мм					
Шаг циклической ошибки Y	12,0000мм					
Расчитанная скорость подачи	1001,0мм/мин					
Смещение центра X	0,3мкм					
Смещение центра Y	-2,8мкм					
Отклонение от круглости	7,2мкм					

Параметры теста	
Радиус	100,0000мм
Скорость подачи	1000,0мм/мин
Начало/Конец/Забег	45,00°/45,00°/45,00°
Порядок проходов	ПРОТИВ ЧС ПО ЧС
Тестируемая область	
Частота считывания	40,000Гц

Рис. 1. Результаты детальной Ballbar диагностики станка Volumetric examples в программе Renishaw

На выключенном станке пневматическая и гидравлическая системы проверяются визуально на отсутствие утечек. Осматриваются соединения шлангов, уплотнения цилиндров, места подключения к агрегатам – следы подтёков масла или воздушных шлангов с трещинами.

ми. Контролируется уровень масла в гидростанции и централизованной системе смазки. Уровень должен находиться между метками min и max. Проверяется состояние масла визуально: потемнение, наличие металлической стружки или эмульсии указывают на необходимость замены. Остаточный объём СОЖ проверяется в баке системы охлаждения. При необходимости СОЖ доливается или заменяется полностью (при появлении неприятного запаха, расслоении, изменении цвета [6]).

Запуск производится в штатном режиме с соблюдением последовательности, указанной в руководстве по эксплуатации. При запуске контролируется время выхода на рабочий режим, прохождение самодиагностики (если предусмотрена), отсутствие сообщений об ошибках. Системы безопасности – это последний рубеж защиты персонала от травм, и их проверка обязательна при каждом техническом обслуживании. Неработающая аварийная кнопка или заблокированная защитная блокировка – это потенциальный несчастный случай.

Проверка аварийных кнопок (грибков) выполняется практическим тестированием. Каждая аварийная кнопка на станке нажимается поочередно – станок должен немедленно остановиться, приводы должны обесточиться. Проверяется также корректность разблокировки: после поворота или вытягивания кнопки станок не должен запускаться автоматически, требуется явное подтверждение оператора. Блокировки защитных дверей и кожухов проверяются аналогично. При открытии двери ограждения рабочей зоны станок должен либо остановиться, либо заблокировать возможность запуска (в зависимости от конструкции). Проверяется невозможность обхода блокировки – датчики должны быть закреплены надёжно, провода не должны иметь скруток или обходных перемычек. Световые завесы (при наличии) тестируются пересечением луча посторонним предметом – станок должен остановиться.

Проверяется вся высота и ширина завесы, отсутствие «мёртвых зон». Концевые выключатели, ограничивающие перемещение по осям, проверяются при движении осей в крайние положения. Станок должен остановиться до механического упора. Защита от перегрузки шпинделя и приводов проверяется по журналу ошибок – если ранее фиксировались срабатывания, выясняется причина. Результаты проверки каждого элемента системы безопасности заносятся в акт с отметкой «исправен» / «неисправен». Эксплуатация станка с неисправными системами безопасности запрещена [7].

Проверка работоспособности в состоянии покоя и при движении сразу после запуска, до выполнения каких-либо перемещений, станок выдерживается в состоянии покоя. В это время проводится слуховой и обонятельный контроль, который невозможен на выключенном оборудовании: посторонние шумы (стук, скрежет, свист, гул подшипников), нехарактерные запахи (горелая изоляция, перегретое масло). Также контролируется отсутствие сообщений об ошибках на дисплее ЧПУ, корректность показаний датчиков положения (должны соответствовать фактическому положению осей), работа индикаторов и сигнализации. На работающем станке проверяется давление в пневмосистеме по манометру, температура масла в гидробаке (не должна превышать 60°C при работе). Утечки воздуха теперь определяются на слух по характерному шипению. Затем выполняется проверка перемещений по всем осям. Движения выполняются сначала на малых подачах, затем на рабочих скоростях. Контролируется: плавность хода (отсутствие рывков, заеданий), соответствие фактического перемещения заданному, корректная отработка концевых выключателей и программных ограничений [8, 9].

Станок должен быть установлен строго горизонтально – это базовое требование для обеспечения геометрической точности. Проверка выполняется с помощью прецизионного уровня, который устанавливается на базовые поверхности станка (обычно указаны в документации производителя). Если отклонение превышает допустимое значение, производится регулировка опор. После регулировки проверка повторяется. Следует учитывать, что станок должен «отстояться» после регулировки опор – иногда требуется повторная проверка через

несколько часов или на следующий день [10]. Пример Ballbar диагностики станка Volumetric examples упрощенного вида в программе Renishaw приведен на рис. 2.

Заключительным этапом является проверка точностных характеристик станка в динамике. Для токарных станков это может быть обработка контрольной детали с последующим измерением. Для фрезерных станков применяется система Ballbar, позволяющая выявить отклонения при круговой интерполяции, люфты, рассогласование осей.

Результаты сравниваются с паспортными данными станка и допусками по необходимым требованиям. При превышении допусков принимается решение о необходимости калибровки, регулировки или ремонта.

Таким образом, в работе представлена усовершенствованная методика контроля качества функционирования станочного оборудования, направленная на унификацию процедур технического обслуживания на производственных предприятиях. Разработанная система поэтапного контроля охватывает все критические аспекты технического состояния оборудования: от оценки условий эксплуатации и коммуникационного обеспечения до проверки геометрической точности и функциональных характеристик.

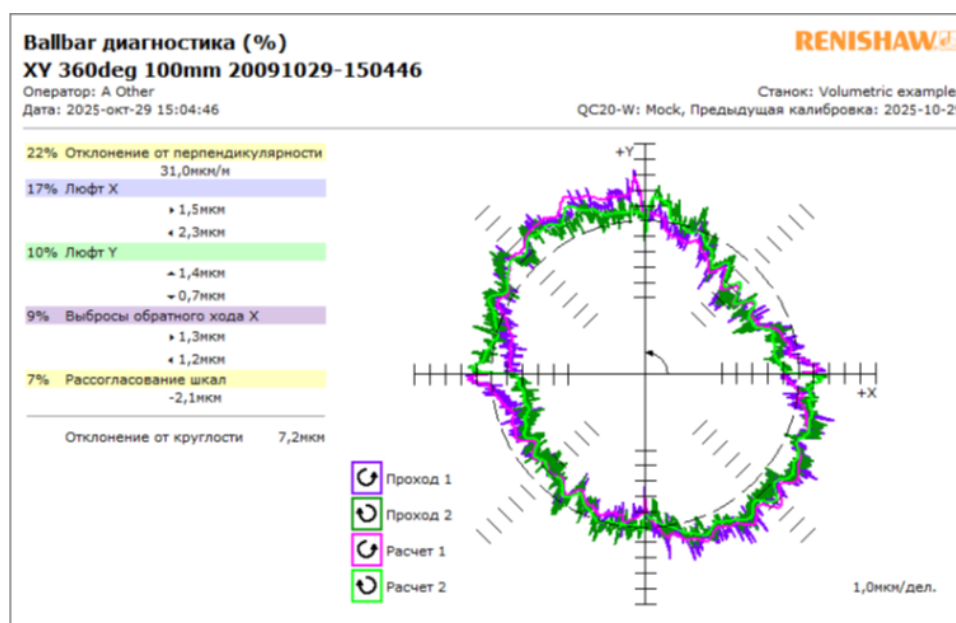


Рис. 2. Пример Ballbar диагностики станка Volumetric examples упрощенного вида в программе Renishaw

Особенностью предложенной методики является её модульная структура, позволяющая адаптировать процедуры контроля к различным типам станочного оборудования без потери полноты охвата контролируемых параметров, что значительно упрощает и ускоряет уже существующий процесс работы.

Библиографический список

1. Цифровое машиностроение / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов [и др.]. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", 2023. – 266 с. – ISBN 978-5-8265-2608-8.
2. ГОСТ ISO 230-2-2016. Геометрическая точность металлорежущих станков. Проверка геометрической точности металлорежущих станков размером менее 15 м с линейными перемещениями осей менее 2 м / Госстандарт России // AllGosts.ru : [Электронный ресурс]. – URL: https://allgosts.ru/25/080/gost_iso_230-2-2016 (дата обращения: 15.01.2026).
3. Васильев А.Н., Петров Г.И. Методы оценки работоспособности промышленного оборудования / А.Н. Васильев, Г.И. Петров // Вестник машиностроения. – 2020. – № 4. – С. 34–41.
4. Григорьев Д.В. Основы технической диагностики : учебное пособие / Д.В. Григорьев. – Москва : Техносфера, 2019. – 240 с.

5. Иванов Н.А., Сидоров К.М. Современные методы контроля точности деталей и сборочных единиц : учебное пособие / Н.А. Иванов, К.М. Сидоров. – СПб. : Политехника, 2022. – 180 с.
6. Иванов Н.А., Сидоров К.М. Современные методы контроля точности деталей и сборочных единиц. Учебное пособие. – СПб.: Политехника, 2022. – 180 с.
7. Новиков Ф.Г. Организация работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования : практическое руководство / Ф.Г. Новиков. – Екатеринбург : Уралтехмаш, 2021. – 220 с.
8. Информационная поддержка принятия решений при проведении технологического обслуживания токарных станков / В. А. Немтинов, В. Ю. Бобылев, Ю. В. Немтинова, А. Б. Борисенко // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2020. – Т. 26, № 2. – С. 220-229. – DOI 10.17277/vestnik.2020.02.pp.220-229.
9. Проведение технического обслуживания и ремонта вертикально-фрезерных обрабатывающих центров с использованием программных средств / В. А. Немтинов, В. А. Парсков, А. Б. Борисенко, Ю. В. Немтинова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2022. – Т. 28, № 3. – С. 507-519. – DOI 10.17277/vestnik.2022.03.pp.507-519.
10. Смирнов Е.П. Эксплуатационные характеристики технологического оборудования и пути повышения надежности эксплуатации : монография / Е.П. Смирнов. – Новосибирск : Наука, 2023. – 300 с.

УДК 64.011.56; ГРНТИ 37.01.85

АВТОМАТИЗАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОТЧЕТНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ СРЕДСТВАМИ СУБД И ТАБЛИЧНОГО ПРОЦЕССОРА

Н.А. Бусаров, Н.В. Грибов, О.В. Миловзоров

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, busarov.nikitos@gmail.com*

Аннотация. В статье рассматривается подход к автоматизации формирования аналитической отчетности производственного предприятия на основе интеграции реляционной СУБД PostgreSQL и табличного процессора MS Excel. Представлена структура базы данных, включающая таблицы для учета сотрудников, заказов, стадий производственного цикла, а также специализированные таблицы для отделов маркетинга, проектирования, производства, материально-технического снабжения, ремонта, эксплуатации и утилизации. Описаны SQL-запросы для создания таблиц, наполнения данными и экспорта информации о расчетном и фактическом времени выполнения работ в формат CSV. Реализована ролевая модель разграничения прав доступа сотрудников к данным, обеспечивающая защиту информации и соблюдение принципа минимальных привилегий. Показана возможность визуализации экспортированных данных в MS Excel в виде сравнительных диаграмм для анализа отклонений и оптимизации производственных процессов. Система может быть интегрирована с PDM-системами предприятия.

Ключевые слова: автоматизация отчетности, производственная информационная система, СУБД, ролевая модель доступа, анализ трудозатрат, визуализация данных.

AUTOMATION OF ANALYTICAL REPORTING OF A MANUFACTURING ENTERPRISE USING A DBMS AND A SPREADSHEET PROCESSOR

N.A. Busarov, N.V. Gribov, O.V. Milovzorov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, busarov.nikitos@gmail.com*

The summary. The article discusses an approach to automating the formation of analytical reporting for a manufacturing enterprise based on the integration of the relational DBMS PostgreSQL and the MS Excel spreadsheet processor. A database structure is presented, including tables for employees, orders, stages of the production cycle, as well as specialized tables for marketing, design, production, logistics, repair, operation, and disposal departments. SQL queries for creating tables, populating data, and exporting information on standard and actual labor costs to CSV format are described. A role-based model for differentiating employee access rights to data is implemented, ensuring information protection and compliance with the principle of least privilege. The possibility of visualizing exported data in MS Excel as comparative charts for deviation analysis

and optimization of production processes is shown. The system can be integrated with enterprise PDM systems.

Keywords: reporting automation, manufacturing information system, DBMS, role-based access control, labor cost analysis, data visualization.

Современное производство генерирует огромные массивы данных на каждом этапе жизненного цикла изделия. Оптимизация производственных процессов невозможна без систематизации, корректного хранения и аналитической обработки информации. Реляционные базы данных являются эффективным инструментом для решения подобных задач благодаря своей надёжности, гибкости и встроенным механизмам контроля доступа.

Целью данной статьи является демонстрация подхода к построению дополнения модуля к PDM системе, обеспечивающего автоматизированный сбор, хранение и анализ данных о трудозатратах по стадиям производственного цикла и визуализации данных для принятия технологических и других решений сотрудниками на всех этапах производства на основе полученных данных. Редактируемые данные в виде файла будут располагаться, как объект-отчет внутри PDM системы и постоянно при необходимости обновляться пользователями с помощью SQL запросов в СУБД.

Основное внимание уделяется двум взаимосвязанным аспектам: реализация детализированной ролевой модели по обеспечению контроля доступа в зависимости от специализации сотрудников и учёт времени работы специалистов для выявления отклонений и выбора стратегий разработки технологии с минимальными временными затратами с последующей визуализацией данных.

Расчёт времени разработки технологического процесса необходимо делать, исходя из загрузки оборудования. Технолог и другие сотрудники имеют определенное время на выполнение работы. Типовой подход подразумевает, что токарное оборудование используется для токарных операций, фрезерное используется для фрезерования, однако оборудование благодаря системам ЧПУ имеет высокую многофункциональность за счет применения приводного инструмента. Таким образом, фрезерное оборудование может в режиме токарного, поэтому данные технологические подходы изменились.

Ролевая модель контроля доступа позволяет каждому сотруднику иметь доступ только к тем данным, которые им нужны в зависимости от их специализации.

Конструктор закладывает технологию, которую будет разрабатывать технолог, и прежде чем проектировать, должен посмотреть особенности, какие могут быть в технологии, которые в последствии технолог отразит. Таким образом, конструктор разрабатывает конструкцию на основе имеющегося оборудования. Так же и технолога интересует насколько загружено оборудование и имеется ли нужный инструмент, чтобы из нескольких вариантов возможной технологии выбрать наиболее подходящий по временным затратам и свободном оборудовании.

В зависимости от должностных обязанностей сотрудник получает доступ к соответствующим таблицам:

- Маркетолог – таблицы эксплуатация и маркетинг;
- Конструктор – проектирование, производство, маркетинг (просмотр);
- Специалист МТС – производство (просмотр), проектирование (просмотр), материально_техническое_снабжение (полные права);
- Технолог – проектирование и производство;

Для разработки дополнения модуля к PDM системе используются следующие программные средства:

1. СУБД PostgreSQL – мощная объектно-реляционная система с открытым кодом, поддерживающая стандарт SQL и обеспечивающая надёжное хранение и управление данными;

2. pgAdmin – графический инструмент для администрирования PostgreSQL, предоставляющий удобный интерфейс для выполнения SQL-запросов и визуализации данных;

3. MS Excel – табличный процессор для построения диаграмм и графического представления данных.

Создание ролей и назначение прав осуществляется следующими запросами (пример для маркетолога):

```
CREATE ROLE маркетолог;
GRANT SELECT, INSERT, UPDATE ON TABLE эксплуатация TO маркетолог;
GRANT SELECT, INSERT, UPDATE ON TABLE маркетинг TO маркетолог;
CREATE USER маркетолог1 WITH PASSWORD 'парольмаркетолога';
GRANT маркетолог TO маркетолог1;
```

При попытке выполнения запросов к таблицам, на которые у пользователя нет прав, система возвращает ошибку доступа.

Производственная информационная система включает следующие таблицы:

1. Сотрудники – данные о сотрудниках (фамилия, должность).

2. Заказы – информация о производственных заказах (номер заказа, название, расчётное и фактическое время, статус).

3. Стадии_заказа – этапы выполнения заказа с указанием ответственных сотрудников и участков работ.

4. Специализированные таблицы для отделов:

- маркетинг
- проектирование
- производство
- материально_техническое_снабжение

Каждая из таблиц отделов содержит поля: идентификатор заказа, идентификатор сотрудника, расчётное и фактическое время в часах, а также специфические для отдела атрибуты (например, материалы для снабжения и т.д.).

Примеры SQL-запросов для создания таблиц:

```
CREATE TABLE Сотрудники (
  id SERIAL PRIMARY KEY,
  Фамилия VARCHAR(100) NOT NULL,
  Должность VARCHAR(50) NOT NULL,
  сотрудник_id INTEGER UNIQUE NOT NULL);
```

```
CREATE TABLE заказы (
  id SERIAL PRIMARY KEY,
  номер_заказа VARCHAR(20) UNIQUE NOT NULL,
  название_заказа VARCHAR(200) NOT NULL,
  описание TEXT,
  устройство VARCHAR(100) NOT NULL,
  расчетное_время_часы NUMERIC(10,2) NOT NULL,
  фактическое_время_часы NUMERIC(10,2) NOT NULL,
  статус VARCHAR(50) DEFAULT 'в работе',
  дата_создания TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP);
```

```
CREATE TABLE производство (
  id SERIAL PRIMARY KEY,
  заказ_id INTEGER REFERENCES заказы(id),
  сотрудник_id INTEGER REFERENCES Сотрудники(сотрудник_id),
  расчетное_время_часы NUMERIC(10,2) NOT NULL,
```

```

фактическое_время_часы NUMERIC(10,2) NOT NULL,
этап_производства VARCHAR(100),
оборудование VARCHAR(100),
качество_продукции VARCHAR(50),
создано TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP);

```

Остальные таблицы отделов создаются по аналогии с необходимыми атрибутами и внешними ключами.

С помощью запросов INSERT INTO в таблицы добавляются тестовые данные, которые демонстрируют структуру и наполнение базы данных.

Особый интерес представляет сопоставление расчётного (нормативного) и фактического времени выполнения работ. Для анализа эффективности и производительности сотрудников, выявления причин несоответствия нормам и последующей оптимизации трудовых затрат был разработан запрос, объединяющий данные из всех отделов и экспортирующий результаты в CSV-файл.

Структура запроса:

```

COPY (
  SELECT
    s.Фамилия,
    COALESCE(ст.участок_работы, 'Не указан') AS "Участок работ",
    COALESCE(ст.название_стадии, 'Не указана') AS "Название стадии",
    м.расчетное_время_часы AS "Расчетное время",
    м.фактическое_время_часы AS "Фактическое время"
  FROM Сотрудники s
  JOIN маркетинг м ON s.id = м.сотрудник_id
  LEFT JOIN стадии_заказа ст ON s.id = ст.сотрудник_id
  WHERE (м.расчетное_время_часы > 0 OR м.фактическое_время_часы > 0)
  UNION ALL
  -- аналогичные блоки для других отделов
) TO 'E:\file.csv' WITH (FORMAT CSV, HEADER true, DELIMITER ';', ENCODING
'WIN1251');

```

Результат экспорта показан на рис. 1.

```

Запрос История запросов
39 WHERE (мтс.расчетное_время_часы > 0 OR мтс.фактическое_время_часы > 0)
40
41 UNION ALL
42
43 SELECT
44     s.Фамилия,
45     s.сотрудник_id,
46     COALESCE(ст.участок_работы, 'Не указан'),
47     COALESCE(ст.название_стадии, 'Не указана'),
48     пр.расчетное_время_часы,
49     пр.фактическое_время_часы
50 FROM Сотрудники s
51 JOIN производство пр ON s.сотрудник_id = пр.сотрудник_id
52 LEFT JOIN стадии_заказа ст ON s.сотрудник_id = ст.сотрудник_id
53 WHERE (пр.расчетное_время_часы > 0 OR пр.фактическое_время_часы > 0)
54
55 ORDER BY "Фамилия", "Участок работ" TO 'E:\file.csv' WITH (FORMAT CSV, HEADER true, DELIMITER ';', ENCODING 'WIN1251');
56
Data Output Сообщения Notifications
ЗАМЕЧАНИЕ: идентификатор "материально_техническое_снабжение" будет усечён до "материально_техническое_снабжениеи"
COPY 8
Запрос завершён успешно, время выполнения: 51 msec.

```

Рис. 1. Результат запроса на экспорт данных

Полученный CSV-файл импортируется в MS Excel, где на его основе строится сравнительная диаграмма расчётного и фактического времени работы сотрудников (рис. 2). Диаграмма наглядно демонстрирует данные по загрузке работой по заказу сотрудников, позволяя координировать работу сотрудников между отделами и принимать меры по оптимизации трудовых затрат производственного цикла.

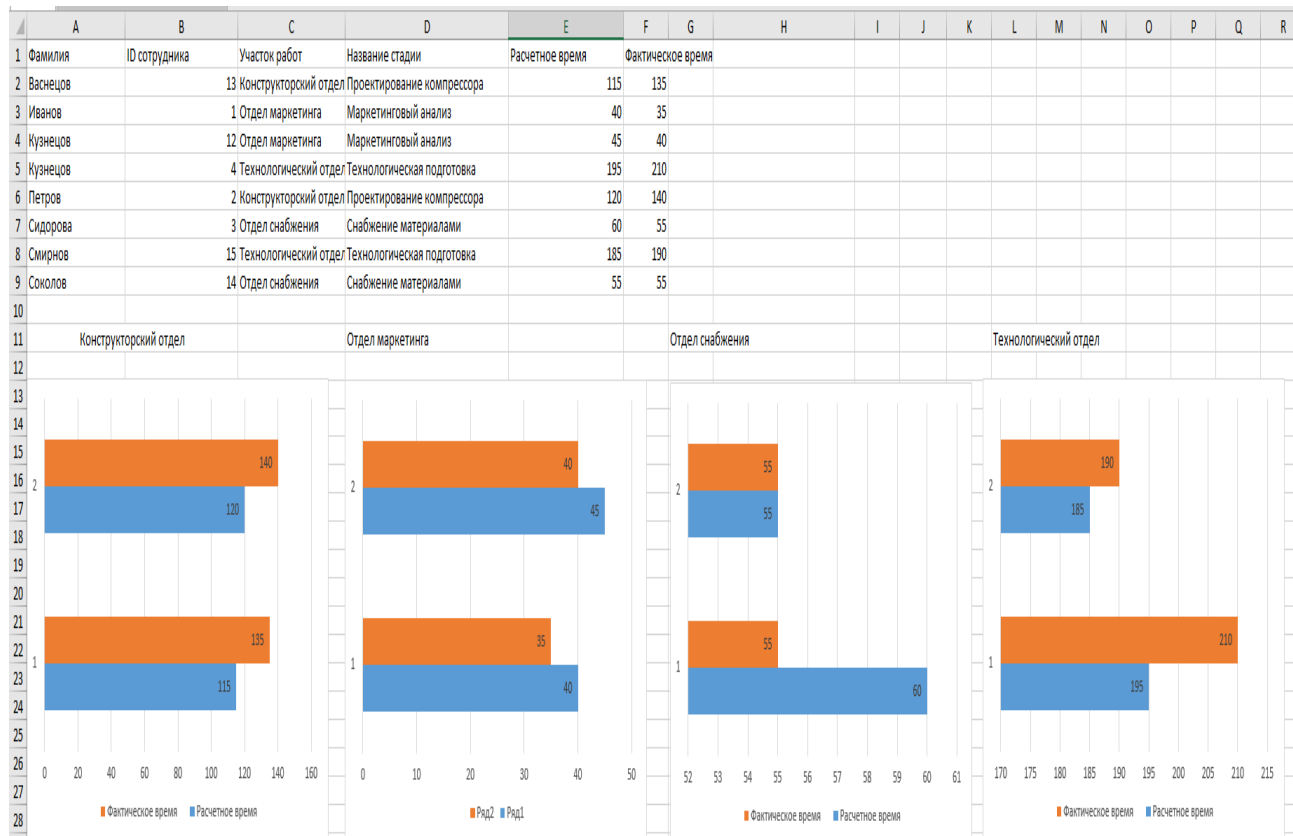


Рис. 2. Диаграмма с данными о расчетном и фактическом времени работы сотрудников

Соответственно, сотрудник, воспользовавшись PDM модулем, получает данные о загрузке оборудования, а также графики о загрузке сотрудников, а файл со всеми полученными данными будет храниться в PDM системе.

Таким образом, дополнение модуля к PDM системе на базе СУБД PostgreSQL и табличного процессора MS Excel обеспечивает автоматизацию сбора, хранения и анализа данных о трудовых затратах по стадиям производственного цикла. Реализованная ролевая модель гарантирует доступ к данным для сотрудников в зависимости от их должностных обязанностей. Экспорт данных в формат CSV и последующая визуализация в MS Excel позволяют наглядно оценивать отклонения фактических трудовых затрат от нормативных и своевременно принимать решения по минимизации трудоемкости. Дополнение используется совместно с PDM модулем и может быть интегрировано с существующими PDM-системами или использоваться как самостоятельный инструмент автоматизации производственного учёта.

Библиографический список

1. Документация PostgreSQL [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://postgrespro.ru/docs>
2. Советов, Б.Я. Базы данных: теория и практика: учебник для вузов / Б.Я. Советов, В.В. Цехановский, В.Д. Чертовской. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 2020. – 463 с.
3. Гаврилов, Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP II / Д.А. Гаврилов. – СПб.: Питер, 2015. – 416 с.

УДК 681.5.013

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ В РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

Г.А. Нетесов, Д.Н. Карпухин,

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, Воронеж, grisha.netyosov@yandex.ru*

Аннотация. При помощи задачи восстановления обмена данными в распределённых системах управления автономными объектами при нарушении каналов связи показано, что потери пакетов и задержки приводят к рассогласованию локальных оценок состояния агентов и снижению качества управления. Выполнен анализ ограничений классических методов, основанных на априорных моделях и наблюдателях состояния. Предложен нейросетевой подход логического восстановления недоступной информации, включающий реконструкцию и прогнозирование компонент вектора состояния автономного агента. Разработана архитектурная схема модуля восстановления обмена с блоком контроля доступности данных и нейросетевым модулем (автоэнкодер и LSTM). Предложенное решение направлено на повышение отказоустойчивости распределённых систем управления без изменения физической инфраструктуры связи.

Ключевые слова: распределённые системы управления, восстановление обмена данными, многоагентные системы, нейросетевые модели, отказоустойчивость.

DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF DATA EXCHANGE RECOVERY MODELS IN DISTRIBUTED CONTROL SYSTEMS OF AUTONOMOUS OBJECT PROCESSES BASED ON NEURAL NETWORK MODELS

G.A. Netesov, D.N. Karpukhin

*Voronezh State Technical University, Voronezh,
Russian Federation, grisha.netyosov@yandex.ru*

Abstract. The paper addresses the problem of data exchange recovery in distributed control systems of autonomous objects under communication channel disruptions. It is shown that packet losses and communication delays lead to inconsistencies in local state estimates of agents and to a degradation of control performance. The limitations of classical methods based on a priori mathematical models and state observers are analyzed. A neural network-based approach to logical recovery of unavailable information is proposed, including reconstruction and prediction of the components of an autonomous agent's state vector. An architectural scheme of the recovery module is developed, incorporating a data availability monitoring block and a neural network module (autoencoder and LSTM). The proposed solution is aimed at improving the fault tolerance of distributed control systems without modifying the physical communication infrastructure.

Keywords: distributed control systems; data exchange recovery; multi-agent systems; neural network models; fault tolerance.

Современные автономные объекты, включая мобильные роботы, беспилотные летательные аппараты и интеллектуальные технические системы, всё чаще функционируют в составе распределённых систем управления [1]. Для подобных систем характерно отсутствие единого центра управления и необходимость координации действий между агентами на основе обмена данными о состоянии, результатах измерений и управляющих воздействиях. Надёжность и своевременность информационного обмена в таких системах является ключевым фактором, определяющим устойчивость функционирования и качество управления.

Распределённые системы управления автономными объектами функционируют в условиях ограниченных вычислительных и энергетических ресурсов, а также в динамически изменяющейся внешней среде. Каналы связи между агентами подвержены задержкам, потерям пакетов, временным разрывам и полной недоступности. В задачах управления группами автономных объектов подобные нарушения следует рассматривать не как исключительные ситуации, а как штатные режимы функционирования системы [2].

Классические методы повышения надёжности передачи данных, основанные на повторной передаче пакетов, резервировании каналов и введении избыточности, широко применяются в телекоммуникационных системах. Однако для автономных объектов данные подходы оказываются ограниченно применимыми вследствие жёстких требований к времени реакции и ограничений по вычислительным ресурсам. В условиях управления динамическими объектами задержка или потеря информации может приводить к деградации качества управления и потере устойчивости замкнутых контуров [3].

В условиях нарушения обмена данными особую актуальность приобретает задача логического восстановления информации, необходимой для функционирования контуров управления. Под логическим восстановлением понимается формирование оценок недоступных данных без вмешательства в физический и каналный уровни передачи информации. Традиционные методы восстановления, включая фильтры Калмана и различные виды наблюдателей состояния, предполагают наличие адекватной математической модели объекта и внешней среды, что существенно ограничивает их применимость для сложных нелинейных автономных систем [2, 3].

Распределённая система управления может быть формализована в виде совокупности автономных агентов, взаимодействующих между собой посредством обмена данными. Состояние i -го агента в момент времени t описывается вектором $x_i(t) = \{x_{i1}(t), x_{i2}(t), \dots, x_{in}(t)\}$, включающим координаты, скорости, параметры ориентации, энергетическое состояние и другие переменные, необходимые для формирования управляющих воздействий. В нормальном режиме функционирования агенты обмениваются оценками своих состояний, что обеспечивает согласование локальных моделей и координацию действий. При нарушении связи часть компонент вектора состояния становится недоступной, что приводит к рассогласованию локальных оценок и снижению эффективности управления.

Существенным ограничением классических методов восстановления является их низкая адаптивность к изменяющимся условиям функционирования и высокая чувствительность к ошибкам модели. Кроме того, при увеличении размерности вектора состояния и числа агентов вычислительная сложность таких методов существенно возрастает, что ограничивает их применение в масштабных распределённых системах управления [1].

В связи с указанными ограничениями перспективным направлением является использование нейросетевых моделей, обладающих способностью аппроксимации сложных нелинейных зависимостей и обучения на основе эмпирических данных [4]. Нейросетевые методы позволяют формировать оценки недоступных компонент состояния без явного задания математической модели объекта и могут адаптироваться к изменениям динамики системы и внешней среды. В рамках данной работы нейросети рассматриваются не как замена каналов связи, а как временный логический механизм реконструкции и прогнозирования данных при нарушении обмена.

Для восстановления пропущенных данных могут применяться автоэнкодеры, обученные на исторических данных функционирования системы управления, что позволяет реконструировать такие параметры, как координаты, скорости или показания датчиков. Для прогнозирования динамики состояния автономных объектов целесообразно применение рекуррентных нейронных сетей, в частности архитектур LSTM, учитывающих временную зависимость данных [5].

Использование нейросетевых моделей требует учёта ограничений, связанных с возможным накоплением ошибки прогнозирования при длительном отсутствии связи. В связи с этим в архитектуре системы целесообразно предусмотреть механизмы контроля достоверности восстановленных данных и ограничения времени их использования в контуре управления.

Предлагаемая архитектурная модель восстановления обмена данными основана на модульном построении системы управления автономного объекта и включает модуль локаль-

ных данных, модуль обмена информацией, блок контроля доступности данных и нейросетевой модуль восстановления (рисунок 1). Блок контроля доступности осуществляет мониторинг состояния каналов связи и инициирует переход к режиму восстановления при обнаружении нарушений обмена. Нейросетевой модуль формирует оценки недоступных компонент состояния на основе локальной информации и накопленных исторических данных. После восстановления связи выполняется коррекция локальных оценок состояния на основе актуальных данных, полученных от других агентов.

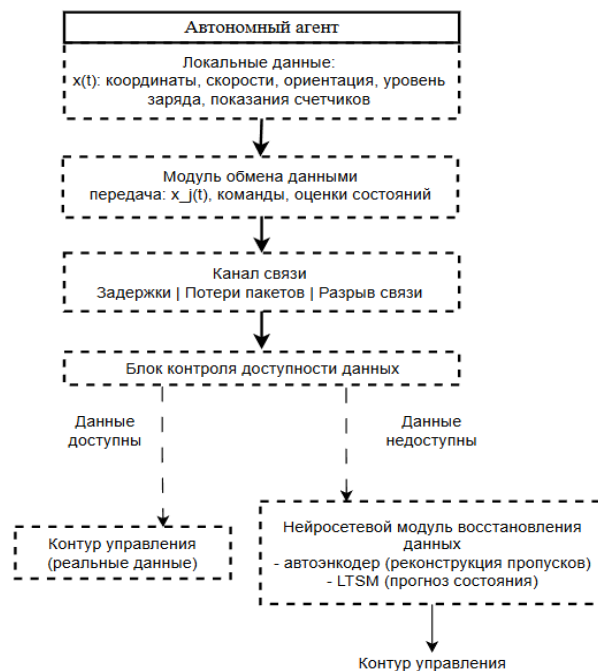


Рис. 1. Архитектурная схема восстановления логического обмена данными в распределённой системе управления автономными объектами

Предложенный подход обеспечивает повышение отказоустойчивости распределённых систем управления автономными объектами без необходимости модификации физической инфраструктуры связи. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и анализе распределённых систем управления автономными объектами различного назначения.

Выводы: Обоснована целесообразность применения логического восстановления обмена данными в распределённых системах управления автономными объектами при нарушении каналов связи. Показаны ограничения классических методов, основанных на априорных моделях, и аргументирована эффективность нейросетевого подхода для реконструкции и прогнозирования компонент вектора состояния агента. Разработанная архитектура модуля восстановления обеспечивает поддержание работоспособности контуров управления без изменения физической инфраструктуры связи и может быть использована при проектировании отказоустойчивых распределённых систем управления.

Библиографический список

1. Радаев В. А. Распределённые системы управления : монография. – М. : Машиностроение, 2018. – 256 с.
2. Егоров А. В. Теория автоматического управления : учеб. пособие. – М. : Физматлит, 2016. – 384 с.
3. Красовский Н. Н. Теория управления движением. – М. : Наука, 1987. – 476 с.
4. Фомин В. Н. Нейронные сети в задачах управления. – М. : Радиотехника, 2019. – 320 с.
5. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory // *Neural Computation*. – 1997. – Vol. 9, No. 8. – P. 1735–1780.

УДК 004.043; ГРНТИ 20.51.23

МЕТОДЫ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ОБЪЁМОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Д.А. Порнякова

Рязанский государственный радиотехнический университет

Рязань, dianaprnkv@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена основным этапам анализа данных, включая их сбор, предварительную обработку, разведочный и статистический анализ, а также интерпретацию полученных результатов с использованием современных программных средств анализа данных.

Ключевые слова: методы анализа данных, производственные данные, кластерный анализ, предиктивная аналитика, методы визуализации больших данных.

METHODS OF ANALYZING LARGE VOLUMES OF PRODUCTION DATA

D.A. Pornyakova

Ryazan State Radio Engineering University

Ryazan, dianaprnkv@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to the main stages of data analysis, including data collection, preliminary processing, exploratory and statistical analysis, as well as interpretation of the results obtained using modern data analysis software.

Keywords: data analysis methods, production data, cluster analysis, predictive analytics, big data visualization methods.

В условиях цифровизации промышленности и внедрения интеллектуальных производственных систем объёмы данных, формируемые оборудованием и системами управления, постоянно возрастают. Анализ больших объёмов производственных данных позволяет выявлять скрытые закономерности, повышать эффективность технологических процессов, снижать уровень брака и повышать надёжность оборудования. В связи с этим разработка и применение современных методов анализа производственных данных является актуальной научно-практической задачей.

Разработка методики анализа производственных данных

Общий алгоритм методики анализа производственных данных представлен на рисунке 1.

На первом этапе формируются *цели анализа* производственных данных, которые определяют выбор методов и алгоритмов обработки информации. Основные направления анализа могут включать следующие цели:

- оптимизация производственных процессов
- предиктивное обслуживание оборудования
- контроль и повышение качества продукции

Выбор методов анализа производственных данных определяется целями исследования, характером и объёмом исходных данных, а также требованиями к интерпретируемости результатов. Например, для производственных данных представленных в виде временных рядов технологических параметров (температура, уровень вибрации, длительность производственного цикла) и бинарных показателей качества продукции - целесообразно применение комплексного подхода, включающего статистические методы и методы машинного обучения.

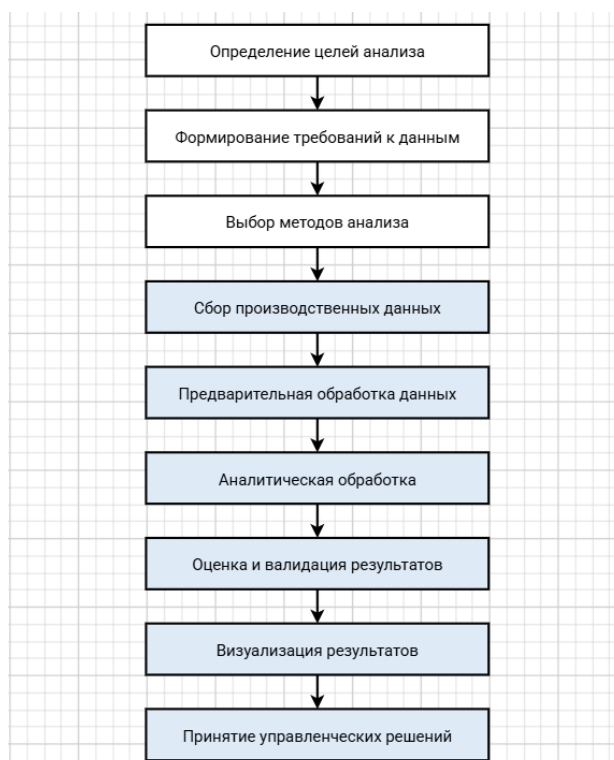


Рис. 1. Методика анализа производственных данных

Алгоритм обработки производственных данных может включать следующие этапы.

1. Сбор данных: получение данных из производственных информационных систем (MES, SCADA, ERP), датчиков и систем контроля качества.

2. Предварительная обработка: очистка данных от выбросов и пропусков, нормализация, синхронизация по времени, преобразование форматов.

3. Анализ и моделирование: применение выбранных методов анализа в соответствии с поставленными целями. Расчёт показателей, построение моделей, выявление закономерностей и аномалий.

4. Оценка результатов: проверка точности моделей, интерпретация результатов совместно с экспертами предметной области, оценка экономического эффекта.

5. Визуализация и принятие решений: представление результатов в виде отчётов и дашбордов, формирование рекомендаций для управленческих и технических решений.

Таким образом, данная методика обеспечивает системный и воспроизводимый подход к анализу производственных данных, способствующий повышению эффективности и надёжности производственных процессов.

Проведение экспериментов на производственных данных

В рамках эксперимента в качестве объекта исследования - были использованы синтетические производственные данные, моделирующие работу единицы оборудования.

Параметры данных

1. Временной шаг: 1 час
2. Объём выборки: 500 наблюдений
3. Показатели:
 - температура оборудования
 - уровень вибрации
 - длительность производственного цикла
 - факт отказа оборудования

– наличие дефекта продукции

Данные имитируют реальные сигналы, поступающие из SCADA/MES-систем.

Состав Excel-файла: файл содержит 500 записей со столбцами, представленными в таблице 1.

Таблица 1. Производственные данные

Поле	Описание
timestamp	Дата и время измерения
temperature_C	Температура оборудования, °C
vibration_mm_s	Уровень вибрации, мм/с
cycle_time_s	Длительность производственного цикла, с
equipment_failure	Отказ оборудования (0 – нет, 1 – да)
product_defect	Дефект продукции (0 – нет, 1 – да)

Кластеризация режимов работы оборудования (*k-means*)

Рассмотрим один из методов обработки данных, направленный на выявления критических состояний и сегментации наблюдений. Кластеризация позволяет разделить производственные данные на типовые режимы работы.

Кластеризация методом *k-means* [2]:

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{x_i \in C_j} \|x_i - \mu_j\|^2, \quad (4)$$

где k – количество кластеров;

C_j – множество объектов j -го кластера;

μ_j – центр j -го кластера;

J – сумма квадратов расстояний объектов до центров кластеров, минимизируемая алгоритмом

В результате кластеризации методом *k-means* производственные данные были разделены на три группы, соответствующие различным режимам работы оборудования. Анализ средних значений технологических параметров в кластерах позволил выявить режимы с повышенными значениями температуры и вибрации, потенциально связанные с ростом дефектности продукции.

Практическая реализация предложенного метода кластерного анализа выполнена на языке Python с использованием библиотек обработки данных:

```
# -----
# Импорт необходимых библиотек
# -----
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.cluster import KMeans
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
# -----
# Загрузка данных из Excel
# -----
file_path = r"C:\данные\synthetic_production_data.xlsx"
df = pd.read_excel(file_path)
# -----
# Подготовка признаков
# -----
features = df[[
    "temperature_C",
    "vibration_mm_s",
    "cycle_time_s"
]]
```

```

# Стандартизация данных (z-нормализация)
scaler = StandardScaler()
features_scaled = scaler.fit_transform(features)
print("Первые 5 стандартизированных наблюдений:")
print(features_scaled[:5])
# -----
# Кластеризация методом k-means
# -----
kmeans = KMeans(n_clusters=3, random_state=42)
df["cluster"] = kmeans.fit_predict(features_scaled)
# -----
# Анализ результатов кластеризации
# -----
print("\nРаспределение наблюдений по кластерам:")
print(df["cluster"].value_counts())
print("\nСредние значения параметров по кластерам:")
print(
    df.groupby("cluster")[
        "temperature_C",
        "vibration_mm_s",
        "cycle_time_s",
        "product_defect"
    ].mean()
)
# -----
# Визуализация кластеров (2D)
# -----
plt.figure(figsize=(8,6))
scatter = plt.scatter(
    df["temperature_C"],
    df["vibration_mm_s"],
    c=df["cluster"]
)
plt.xlabel("Температура, °C")
plt.ylabel("Вибрация, мм/с")
plt.title("Кластеризация режимов работы оборудования (k-means)")
plt.colorbar(scatter, label="Номер кластера")
plt.grid(True)
plt.show()

```

Исходные данные, загруженные из файла формата Microsoft Excel, включали параметры технологического процесса: температуру оборудования (`temperature_C`), уровень вибрации (`vibration_mm_s`) и время производственного цикла (`cycle_time_s`). Показатель дефектности продукции (`product_defect`) использовался для последующего анализа полученных кластеров.

Перед кластеризацией выполнена стандартизация признаков методом z-нормализации, обеспечивающая сопоставимость переменных и корректную работу алгоритма. Кластеризация проводилась методом k-means при числе кластеров, равном трём, что позволило разделить наблюдения на группы, соответствующие различным режимам работы оборудования.

Для интерпретации результатов были рассчитаны распределение наблюдений и средние значения параметров внутри кластеров (таблица 2), а также выполнена визуализация в пространстве признаков «температура – вибрация» (рисунок 2).

Таблица 2. Средние значения параметров по кластерам

Кластер	Температура, °С	Вибрация, мм/с	Время цикла, с	Дефектность
0	78.65	0.51	57.46	0.082
1	73.10	0.61	68.42	0.333
2	72.72	0.72	56.03	0.000

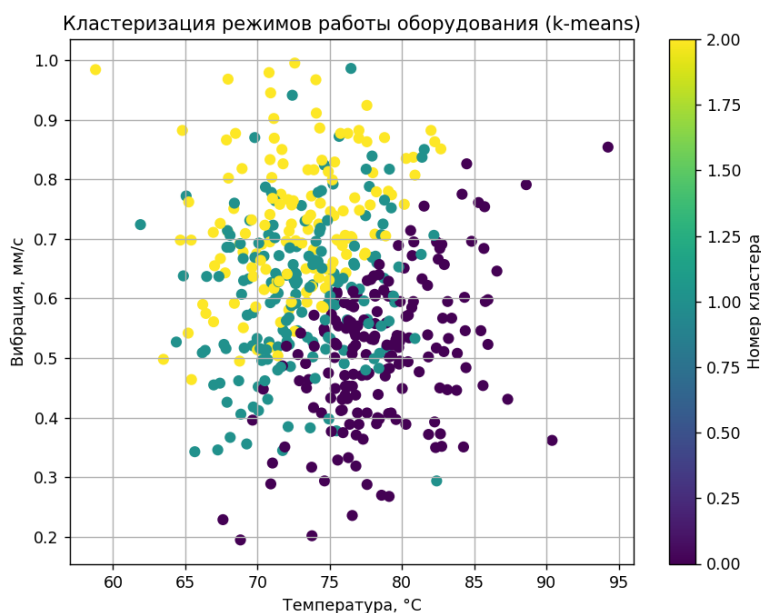


Рис. 2. Кластеризация режимов работы оборудования (k-means)

Полученные результаты позволили выделить устойчивые режимы функционирования оборудования и определить их связь с уровнем дефектности продукции, что может быть использовано при оптимизации производственного процесса и разработке систем мониторинга состояния оборудования.

Библиографический список

1. Анализ данных и процессов: учеб. пособие / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, И. И. Холод, М. Д. Тесс, С. И. Елизаров. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.
2. Дубровская Л.И., Князев Г. Б. Компьютерная обработка естественно-научных данных методами многомерной прикладной статистики: Учебное пособие. - Томск: ТМЛ-Пресс, 2011, - 120 с.
3. Анализ временных рядов и прогнозирование: учебник /В.Н. Афанасьев, М.М. Юзбашев. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2010. – 320 с.: ил.
4. Анализ данных : учебник для вузов / В. С. Мхитарян [и др.] ; под редакцией В. С. Мхитаряна. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 448 с. – (Высшее образование). – Текст : непосредственный.

УДК 681.518; ГРНТИ 50.49

АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НА ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

М.Н. Калинин, Е.М. Кузьмина

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, maksimnkalinin@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются современные автоматизированные информационные системы, применяемые для управления деятельностью промышленных предприятий. Актуальность исследования обусловлена процессами цифровой трансформации экономики и необходимостью внедрения отечественных программных решений в условиях импортозамещения. Целью исследования является сравнительный анализ распространённых российских информационных систем, используемых для автоматизации управленческих и производственных процессов предприятий. В качестве объектов анализа рассмотрены системы различных классов: ERP-решения 1С:ERP и Галактика Quantum.ERP, CRM-платформа Битрикс24, low-code BPM-система ELMA365, а также система управления жизненным циклом разработки программного обеспечения SimpleOne SDLC. Сравнение систем выполнено по ряду критериев, значимых для предприятий промышленного сектора: масштабируемость, функциональность управления производством, интеграционные возможности, гибкость настройки и совокупная стоимость владения. В результате анализа выявлены особенности применения рассматриваемых решений и определены наиболее целесообразные сценарии их использования в зависимости от масштаба и специфики деятельности предприятия. Полученные результаты могут быть использованы при выборе программных решений для автоматизации управления промышленными предприятиями и формировании стратегии цифровизации организации.

Ключевые слова: автоматизированные информационные системы, ERP-системы, цифровая трансформация, управление предприятием, 1С:ERP, Галактика Quantum.ERP, BPM-системы, CRM-системы, импортозамещение.

ANALYSIS OF AUTOMATED INFORMATION SYSTEMS USED IN APPLIANCE-BUILDING ENTERPRISES

M.N. Kalinin, E.M. Kuzmina

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, maksimnkalinin@mail.ru*

The summary. The paper examines modern automated information systems used for enterprise management in industrial organizations. The relevance of the study is determined by the ongoing digital transformation of the economy and the increasing demand for domestic software solutions in the context of import substitution. The aim of the research is to conduct a comparative analysis of widely used Russian information systems designed for the automation of management and production processes. The study considers several classes of systems, including ERP solutions (1С:ERP, Galaktika Quantum.ERP), the CRM platform Bitrix24, the low-code BPM system ELMA365, and the software development lifecycle management system SimpleOne SDLC. The comparison is performed according to a number of criteria important for industrial enterprises: scalability, production management functionality, integration capabilities, adaptability, and total cost of ownership. As a result of the analysis, the specific features of the considered systems and their potential application scenarios are identified. The results obtained can be used when selecting software solutions for enterprise automation and when developing digital transformation strategies for industrial organizations.

Keywords: automated information systems, ERP systems, enterprise management, digital transformation, 1С:ERP, Galaktika Quantum.ERP, BPM systems, CRM systems, import substitution.

В условиях цифровой трансформации экономики предприятия сталкиваются с необходимостью оперативной обработки значительных объёмов информации, повышения прозрачности бизнес-процессов и оптимизации управленческих издержек. Использование разрозненных программных продуктов и бумажного документооборота существенно снижает

эффективность деятельности организаций, увеличивает вероятность ошибок и затрудняет оперативное принятие управленческих решений [6].

В связи с этим всё большее распространение получают автоматизированные информационные системы (АИС), обеспечивающие интеграцию данных и процессов в рамках единого цифрового контура предприятия [7]. Подобные системы позволяют автоматизировать ключевые бизнес-процессы, включая управление производством, логистикой, финансовыми потоками и взаимодействием с клиентами.

Следует отметить, что активное внедрение автоматизированных информационных систем (АИС) на российских предприятиях началось сравнительно недавно. В результате многие организации все еще находятся в процессе совершенствования и оптимизации своих внутренних процессов, а разработчики программного обеспечения продолжают адаптировать функциональность системы к специфическим потребностям различных отраслей.

В современных условиях необходимо проводить анализ отечественных программных решений, используемых для автоматизации управления предприятиями. Это связано как с процессами цифровой трансформации, так и с необходимостью импортозамещения зарубежных корпоративных систем управления [9].

Для достижения этой цели в исследовании был использован сравнительный анализ функциональных возможностей автоматизированных информационных систем. Исследование основано на анализе открытых источников, технической документации рассматриваемых программных решений и материалов по их внедрению на промышленных предприятиях. Системы оценивались по ряду критериев, отражающих требования промышленных предприятий к корпоративным информационным системам.

В исследовании использовался сравнительный анализ функциональных возможностей информационных систем, а также анализ открытых исходных кодов и материалов по внедрению рассматриваемых программных решений. Системы оценивались по ряду критериев, отражающих требования крупных промышленных предприятий к корпоративным информационным системам.

Развитие автоматизированных информационных систем предприятий происходило поэтапно. На начальных этапах внедрялись локальные программные решения, предназначенные для автоматизации отдельных функциональных областей (бухгалтерский учёт, управление складом, кадровый учёт). В дальнейшем развитие информационных технологий привело к формированию комплексных корпоративных систем, интегрирующих основные бизнес-процессы предприятия в рамках единой информационной среды [7]. В рамках данного исследования целесообразно выделить следующие основные системы:

1. 1С:ERP - российская ERP-система для комплексного управления финансами, производством, логистикой и персоналом, лидер рынка с долей около 70%.
2. Галактика ERP - тяжёлая ERP-система для крупных предприятий и госкорпораций, архитектор-турно близкая к SAP, используется в «Росатом», «Ростех», «Россети» [2].
3. Битрикс24 - CRM-система с инструментами для управления задачами, документами, телефонией и совместной работы, лидер в сегменте малого и среднего бизнеса [5].
4. ELMA365 - low-code BPM-платформа для управления бизнес-процессами, включающая модули CRM, документооборота и проектного управления [3].
5. SimpleOne SDLC - российская система управления жизненным циклом разработки ПО (аналог Jira), ориентированная на крупные ИТ-команды и продуктовые компании [4].

Предметная область автоматизированных информационных систем предприятия включает совокупность процессов, связанных с управлением жизненным циклом продукции, материальными и финансовыми потоками, а также документооборотом организации. В частности, в рамках производственного предприятия важную роль играют процессы закупки сырья и комплектующих, планирования производства, управления складскими запасами, контроля выполнения заказов и сопровождения производственной документации [1,8].



Рис. 1. Этапы производства

Для объективного анализа рассматриваемых систем целесообразно выделить ряд критериев, характеризующих их применимость в условиях крупного промышленного предприятия:

1. Масштабируемость - способность системы поддерживать большое количество одно-временных пользователей и обрабатывать значительные объёмы данных без снижения производительности.
2. Функциональность управления производством - наличие инструментов классов MES и APS, позволяющих осуществлять оперативное планирование и управление производственными процессами.
3. Интеграционный потенциал - возможность взаимодействия системы с другими про-граммными решениями предприятия, включая CRM-системы, системы документо-оборота, MES-платформы и производственное оборудование.
4. Адаптивность и возможности кастомизации - гибкость настройки системы под уни-кальные бизнес-процессы предприятия, в том числе с использованием технологий low-code.
5. Совокупная стоимость владения (TCO) - комплексная оценка затрат на внедре-ние, сопровождение и дальнейшее развитие информационной системы[4].

Таблица 1. Сравнение российских автоматизированных информационных систем (таблица составлена на основе анализа источников [1-5]).

Критерий	1С:ERP	Галактика ERP	Битрикс24	ELMA365	SimpleOne SDLC
Основной класс	Тяжелая ERP	Сверхтяжелая ERP (замена SAP/Oracle)	CRM + кол-лаборация	Low-code BPM-платформа + CRM	Управление ИТ-проектами
Масштабируемость (пользователи)	До 5–10 тыс.	До 15 тыс.	До 5 тыс.	Высокая	Высокая
Управление производством	MES/APS-функционал	Полноценное управление дискретным и непрерывным производством	Отсутствует	Ограничено (требуется доработка)	Не применимо
Интеграционный потенциал	Высокий (родные коннекторы, API)	Очень высокий	Высокий	Очень высокий	Высокий

Продолжение таблицы 1

Адаптивность (low-code)	Средняя (требуется программирование)	Средняя	Средняя	Высокая	Высокая
Отраслевая специализация	Универсальная	Промышленность, холдинги, миграция с SAP	Торговля, услуги, малый и средний бизнес	Любая (настройка под процессы)	ИТ, финтех, продуктовые компании
Стоимость владения (TCO)	Средняя	Высокая (сопоставима с SAP)	Низкая/Средняя	Средняя	Высокая

Анализ представленных систем показывает, что современные отечественные корпоративные информационные системы развиваются в направлении повышения модульности архитектуры и расширения интеграционных возможностей. При этом наблюдается тенденция к объединению функциональности различных классов систем (ERP, CRM, BPM) в рамках единой цифровой платформы предприятия. Такой подход позволяет повысить эффективность управления информационными потоками и обеспечить более высокий уровень автоматизации бизнес-процессов организации.

Результаты проведённого анализа показывают, что система Галактика Quantum.ERP обладает широкими функциональными возможностями для использования на крупных промышленных предприятиях. Данное решение ориентировано на организации со сложной структурой управления и значительным количеством пользователей. Архитектура системы реализована с использованием современных технологических подходов, включая микросервисную модель, что обеспечивает возможность масштабирования и повышения отказоустойчивости информационной инфраструктуры предприятия [2].

Данное решение разработано для предприятий с большим количеством пользователей и сложными организационными структурами. Архитектура системы основана на современных технологических подходах, включая модель микросервисов, обеспечивающую высокий уровень масштабируемости и отказоустойчивости. Обоснование выбора:

1. Архитектура, ориентированная на Enterprise: «Галактика Quantum.ERP» построена на современном микросервисном подходе, что обеспечивает горизонтальное масштабирование и отказоустойчивость, необходимые для тысяч одновременных пользователей. Это прямая замена SAP, Oracle EBS и Ахарта, поддержка которых прекращена в России [2].

2. Производственная мощь: система исторически сильна в управлении сложными производственными циклами (дискретное и непрерывное производство), включая межцеховое планирование, что подтверждается внедрениями в «Росатоме», «Ростехе», «Россетях» и Петербургском метрополитене.

3. Плавная миграция с SAP: для крупных компаний, столкнувшихся с уходом западных вендоров, «Галактика» предлагает инструменты миграции с сохранением исторических данных и адаптацией ранее внесённых изменений. Архитектурная близость к SAP снижает потребность в массовом переучивании персонала [2].

4. Опыт работы с холдингами: система поддерживает сложные организационные структуры с разветвлённой филиальной сетью и консолидированную отчётность, что критически важно для крупных корпораций.

Однако выбор не всегда однозначен.

Если предприятие уже имеет глубокую экспертизу в 1С и не относится к сверхтяжёлему машиностроению, то 1С:ERP может быть предпочтительнее. Она обеспечивает более низкую совокупную стоимость владения, полное соответствие российскому законодательству (включая ГОЗ) и имеет широчайшую партнёрскую сеть для поддержки. Современные

версии 1С:ERP включают функционал MES/APS-класса, что позволяет управлять производством на достаточно высоком уровне [1, 3].

Если ключевая задача - не управление ресурсами, а автоматизация уникальных бизнес-процессов, то стоит рассмотреть ELMA365. Это low-code BPM-платформа, которая позволяет быстро адаптировать систему под специфику компании. Как показал кейс фармхолдинга ВИК, ELMA365 может выступать единым цифровым хабом, глубоко интегрируясь с 1С:ERP и управляя сквозными процессами (от лида до сервисного обслуживания). Для крупных компаний с уникальными, часто меняющимися процессами это может быть критичным [3].



Рис. 2. Окно программы Галактика Quantum.ERP

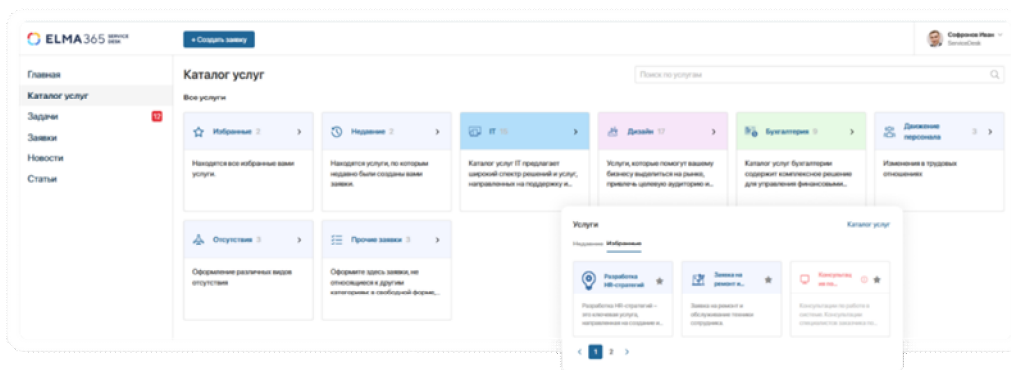


Рис. 3. Окно программы Elma365

Битрикс24 и SimpleOne SDLC решают узкие, хотя и важные задачи. Битрикс24 в корпоративной версии может быть хорошим выбором для управления клиентами и внутренними коммуникациями в масштабах крупной компании (до 5000 пользователей), но он не заменяет ERP. SimpleOne SDLC незаменим для ИТ-департаментов и продуктовых команд, но не управляет производством или финансами предприятия в целом [4].

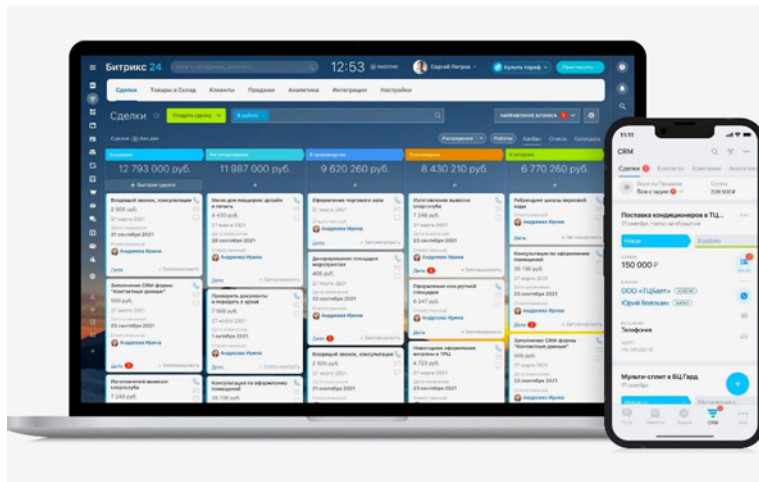


Рис. 4. Окно программы Битрикс24

Заключение

В результате проведённого исследования были рассмотрены современные российские автоматизированные информационные системы, применяемые для управления деятельностью предприятий в условиях цифровой трансформации экономики.

Проведённый сравнительный анализ показал, что рассматриваемые системы ориентированы на различные сегменты и решают различные классы задач. ERP-системы, такие как 1С:ERP и Галактика Quantum.ERP, предназначены для комплексно-го управления ресурсами предприятия и обладают развитым функционалом управления производственными процессами. CRM- и BPM-решения, включая Битрикс24 и ELMA365, в большей степени ориентированы на автоматизацию отдельных бизнес-процессов и взаимодействие между подразделениями.

Установлено, что система Галактика Quantum.ERP обладает высоким потенциалом применения на крупных промышленных предприятиях благодаря развитым возможностям масштабирования и поддержке сложных производственных процессов. В то же время система 1С:ERP остаётся востребованным решением для предприятий среднего и крупного бизнеса благодаря широкому распространению, развитой экосистеме и адаптации к российскому законодательству.

Таким образом, выбор конкретной автоматизированной информационной системы должен осуществляться с учётом масштаба предприятия, отраслевой специфики, существующей ИТ-инфраструктуры и стратегических целей цифровой трансформации организации.

Библиографический список

1. 1С:ERP.УХ Металлургия КОРП – выпуск нового продукта // 1С-Форум : [сайт]. – 2026. – URL: <https://partner.forus.ru/about/news/1s-erp-ukh-metallurgiya-korp-vypusk-novogo-produkt/> (дата обращения: 02.03.2026).
2. «Галактика Quantum.ERP» на замену SAP // Mirprom : [сайт]. – 2026. – URL: <https://mirprom.com/news/galaktika-quantumerp-na-zamenu-sap.htm> (дата обращения: 02.03.2026).
3. Внедрение ERP и 1С:MES на предприятии: управление и планирование производства // Gendalf : [сайт]. – 2026. – URL: <https://gendalf.ru/news/krupnoe-vnedrenie/erp-ili-mes-cto-vybrat-dlya-upravleniya/> (дата обращения: 02.03.2026).
4. Российский рынок ERP в 2026 году: окно возможностей открыто, но конкуренция смещается в технологическую плоскость // Step-by-step : [сайт]. – 2026. – URL: [https://www.step-by-step.ru/news/rossiyskiy-rynok-erp-v-2026-godu-okno-vozmozhnostey-otkryto-no-konkurenciya-smeshaetsya-v-tekhnlol/](https://www.step-by-step.ru/news/rossiyskiy-rynok-erp-v-2026-godu-okno-vozmozhnostey-otkryto-no-konkurenciya-smeshaetsya-v-tekhnologicheskuyu-ploskost/) (дата обращения: 02.03.2026).
5. Сравнение версий Битрикс24: Облако или коробка? // Flamix Software : [сайт]. – 2026. – URL: <https://ru.flamix.software/about/news-article/sravnienie-versiy-bitriks24-oblako-ili-korobka/> (дата обращения: 02.03.2026).

6. Информационные системы управления предприятием : учебник / под ред. В.В. Трофимова. – Москва : Юрайт, 2022. – 405 с.
7. Олейник П.П., Кузнецов А.А. Корпоративные информационные системы : учебное пособие. – Москва : КНОРУС, 2021. – 320 с.
8. Левин В.К. Информационные технологии управления предприятием. – Москва : Академия, 2020. – 368 с.
9. Баранов А.В., Соколова Н.И. Цифровая трансформация промышленных предприятий и внедрение ERP-систем // Информационные технологии. – 2021. – № 7. – С. 45–52.

УДК 004.94; ГРНТИ 50.07.27

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ «УМНОГО ДОМА» НА ОСНОВЕ ПОТОКОВОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В NODE-RED

Е.М. Крючков, И.Н. Романов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, egorkruchkov12@gmail.com*

Аннотация. Статья посвящена методике проектирования систем «умного дома» с использованием потокового программирования в среде Node-RED. В связи с высокой стоимостью создания физических прототипов актуальной задачей является поиск инструментов для предварительного тестирования алгоритмов управления. В работе разбирается функционал Node-RED и демонстрируется работа с его стандартными узлами при построении имитационных моделей IoT-систем.

Ключевые слова: IoT-системы, «умный дом», потоковое визуальное программирование, облачные платформы, моделирование IoT-процессов, ноды.

DESIGN METHODOLOGY FOR SMART HOME SYSTEMS BASED ON FLOW-BASED PROGRAMMING IN NODE-RED

E.M. Kryuchkov, I.N. Romanov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, egorkruchkov12@gmail.com*

Annotation. This article is devoted to the methodology of designing smart home systems using flow-based programming in the Node-RED environment. Due to the high cost of creating physical prototypes, finding tools for preliminary testing of control algorithms is an urgent task. The paper examines the functionality of Node-RED and demonstrates the operation of its standard nodes in building simulation models of IoT systems.

Keywords: IoT systems, Smart Home, visual flow-based programming, cloud platforms, simulation of IoT processes, nodes.

Современный этап развития сетевых технологий характеризуется переходом от управления информацией к управлению физическими объектами. Если объединение компьютеров и смартфонов в единую сеть уже стало привычным, то следующим логическим шагом стала интеграция бытовых приборов и промышленного оборудования в глобальное информационное пространство. Это явление получило название «Интернет вещей» (IoT). Взаимодействие различных физических предметов с окружающим миром, при котором участие человека сведено к минимуму. В техническом аспекте IoT представляет собой сеть аппаратных узлов, оснащённых средствами сбора данных и коммуникации. Для моделирования таких систем часто используется среда потокового программирования Node-RED (<https://nodered.org/>).

Node-RED

Node-RED - это инструмент программирования, первоначально разработанный командой IBM Emerging Technology Services в 2013 году, а ныне развиваемый под эгидой OpenJS Foundation. В основе платформы лежит парадигма потокового программирования, предложенная Джейм Поллом Моррисоном в 1970-х годах [1]. Приложение строится в виде

сети «нодов» (узлов), каждый из которых получает данные, обрабатывает их и передаёт следующему узлу. Совокупность связанных узлов образует «флоу» (поток), описывающий логику работы приложения. Визуальный подход делает разработку доступной для широкого круга пользователей.

Благодаря гибкости и простоте использования Node-RED идеально подходит для создания информационных панелей, средств автоматизации IoT. Платформа может быть установлена локально на операционных системах Windows и Linux, а благодаря небольшим требованиям к ресурсам, возможна интеграция и на одноплатные компьютеры, имеющие одноплатную архитектуру (Raspberry Pi, ELTAY SC, МП21, NMS-SBC-BKLT). Кроме того, Node-RED доступен в виде облачного сервиса, предоставляемого IBM и другими компаниями. Среда обеспечивает быструю интеграцию с различными сетевыми протоколами: HTTP, WebSocket, TCP, MQTT [1,2].

Node-RED функционирует в среде выполнения на базе Node.js, а редактирование потоков осуществляется через веб-браузер. Разработчик перетаскивает необходимые узлы из палитры в рабочую область, соединяет их и одним нажатием кнопки «Deploy» разворачивает приложение в среде выполнения. Палитра узлов легко расширяется за счёт установки дополнительных модулей, созданных активным сообществом, а готовые потоки можно экспортировать в формате JSON для повторного использования или обмена [3].

Стандартные ноды Node-RED

1. Ноды “inject” и “debug”

Соединение узлов “inject” и “debug” с последующим развертыванием конфигурации позволяет наблюдать передачу данных. При активации узла “inject” (по умолчанию генерирующего временную метку) в панели отладки (вкладка «Отладочные сообщения») отображаются числовые значения, соответствующие количеству секунд, как показано на рисунке 1. Каждое последующее нажатие увеличивает это число.

Узел “debug” принимает сообщения и выводит их на вкладку отладки. Отсутствие соединения между узлами приводит к потере данных: сообщение от “inject” не поступает в “debug”. Связанные узлы образуют поток.

Для вывода стандартного сообщения «Hello, world!» в настройках узла “inject” тип данных изменяется с timestamp на string, после чего в поле payload вводится нужная фраза. Редактирование параметров узла выполняется двойным щелчком мыши.

Одно из основных применений узла “inject” является имитация сообщений от физических устройств [4]. Например, при отладке автоматизации на основе датчика открытия двери “inject” позволяет генерировать тестовые сигналы без необходимости реального срабатывания датчика.

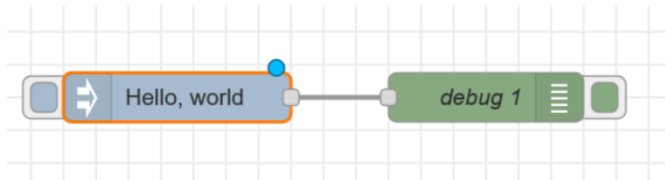


Рис. 1. Применение ноды “inject”

2. Нода “switch”

Нода “switch” реализует условную логику маршрутизации сообщений. Для демонстрации создаются четыре узла “inject”, передающих в payload значения 1, 2, 3 и 4 соответственно, как показано на рисунке 2. Добавляется узел “switch”, настроенный на анализ значения payload. Правила маршрутизации задаются следующим образом: при получении сообщения со значением 1 оно направляется на верхний выход; при значении 2 - на средний выход; при значении больше либо равном 3 - на нижний выход. К каждому выходу подключается узел “debug”.

После развертывания конфигурации проверяется корректность сортировки сообщений в соответствии с заданными правилами. Возможности узла “switch” охватывают широкий круг сценариев, включая мониторинг температуры: система получает показания от датчика, и “switch” на основе их значения инициирует соответствующие действия (включение охлаждения, отправку предупреждения и т.п.).

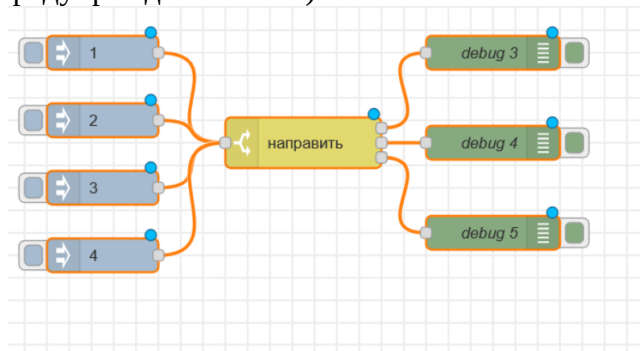


Рис. 2. Применение ноды “switch”

3. Нода “change”

Нода “change” предназначена для создания и редактирования переменных, а также модификации содержимого сообщений. Базовая возможность демонстрируется следующим образом: в узле “inject” задаётся строковое значение «Я нода inject», после чего узел “change” заменяет его на «Я нода switch». Размещение двух узлов “debug” до и после “change” позволяет наблюдать трансформацию сообщения в отладочной панели, как показано на рисунке 3.

Ключевая функциональность “change” заключается в работе с переменными контекста. Поддерживаются три уровня контекста: уровень узла (доступ только внутри узла), уровень потока (переменные доступны в пределах одной вкладки), и глобальный уровень (переменные доступны во всех вкладках редактора).

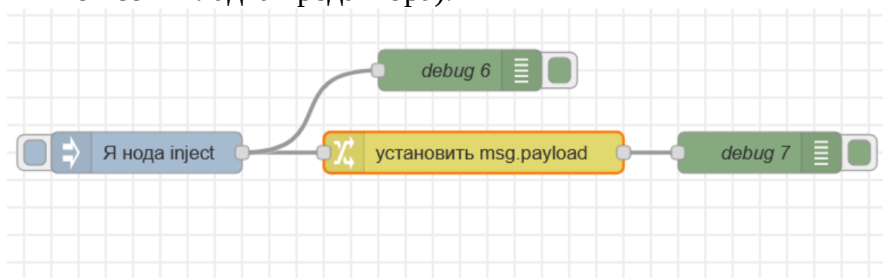


Рис. 3. Применение ноды “change”

4. Узлы “delay” и “trigger”

При построении автоматизаций возникает необходимость введения задержек между последовательными действиями. Эту задачу решает узел “delay”. Например, в сценарии управления освещением комнаты: при нажатии выключателя светодиодная подсветка должна включаться немедленно, а основной свет через три секунды. Реализация выполняется путём ответвления сигнала от узла “inject”: одна ветка идёт напрямую к узлу, управляющему подсветкой, вторая через узел “delay” с установленной задержкой 3 секунды к узлу, включающему основной свет.

“trigger” предназначен для создания триггеров с тайм-аутом. Типовой сценарий: контроль доступности устройства по пингу. Требуется получать сообщение о недоступности только в том случае, если перебой связи длится дольше определённого времени (например, 5 секунд), чтобы отсеять кратковременные сбои, как показано на рисунке 4.

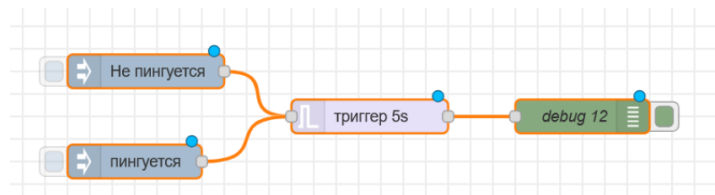


Рис. 4. Применение ноды “trigger”

5. Link-ноды

На начальном этапе link-ноды могут показаться необязательными, однако в дальнейшем без них сложно обойтись. Когда в автоматизации требуется соединить узлы, расположенные далеко друг от друга (например, справа и слева), обычные связи загромождают схему и делают её нечитаемой. Link-ноды решают эту проблему, а также позволяют связывать потоки на разных вкладках [5], как показано на рисунке 5.

Работа с link-нодами не отличается от работы с обычными: достаточно добавить на рабочую область узлы link out и link in и соединить их. Особенность в том, что связь между ними отображается только при выделении. Это позволяет размещать связанные узлы в разных областях и на разных вкладках, сохраняя работоспособность и читаемость потока.

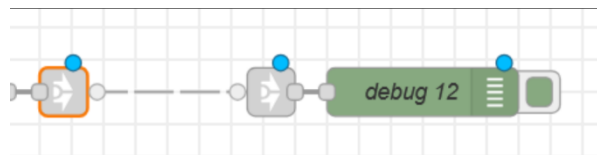


Рис. 5. Применение link-ноды

Вывод

В работе представлен подход к тестированию и оценке качества систем Интернета вещей на основе имитационного моделирования с использованием стандартных узлов Node-RED. Рассмотренный функционал базовых нод позволяет создавать полноценные имитационные модели, исследовать поведение приложений и компонентов IoT без необходимости развёртывания дорогостоящих физических прототипов. Это существенно сокращает временные и материальные затраты на этапе проектирования, а также даёт возможность выявлять потенциальные ошибки логики автоматизации на ранних стадиях разработки.

Библиографический список

1. Node-RED – URL: <https://nodered.org/> (дата обращения: 05.02.2026).
2. Основные концепции, подходы и применение имитационного моделирования в анализе сложных систем. – URL: <https://1solution.ru/events/articles/imitatsionnoe-modelirovanie-osnovnye-kontseptsii-podkhody-i-primeneniye-v-analize-slozhnykh-sistem/> (дата обращения: 10.02.2026).
3. Node-RED автоматизация умного дома. – URL: <https://smarthome-wiki.ru/blog/node-red-avtomatizaciya-umnogo-doma/> (дата обращения: 10.02.2026).
4. Low-code программирование для приложений, управляемых событиями // Node-RED – URL: <https://nodered.org/> (дата обращения: 10.02.2026).
5. Node-RED: Введение / Взаимодействие с Arduino. – URL: https://wikihandbk.com/wiki/Node-RED_Arduino (дата обращения: 11.02.2026).

УДК 004.658; ГРНТИ 50.49.37

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ УЧЕТА И АНАЛИЗА АКТОВ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ РЕКЛАМАЦИЙ В ЦЕХЕ ГАРАНТИЙНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПЛАТФОРМЫ PYTHON/POSTGRESQL

Ю.А. Меркулов, М.А. Шукшин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, г. Рязань*

Аннотация. В работе рассматривается практический аспект цифровой трансформации документооборота цеха гарантийного обслуживания. Объектом автоматизации выступает жизненный цикл акта удовлетворения рекламации. В отличие от общих подходов к управлению заявками, в статье акцентируется внимание на структурном моделировании материальных потоков (замененных узлов) и формировании аналитической базы надежности. Предложена логическая модель базы данных на СУБД PostgreSQL, учитывающая многомерный анализ причин отказов. Описана архитектура веб-приложения на Python с использованием фреймворка Django, ориентированная на минимизацию ошибок ввода данных оператором цеха. Обоснована эффективность применения связки технологий для перехода от бумажных актов к электронным реестрам.

Ключевые слова: рекламационная работа, PostgreSQL, Python, Django, цифровизация производства, акт рекламации, база данных.

DIGITAL TRANSFORMATION OF ACCOUNTING AND ANALYSIS OF ACTS OF SATISFACTION OF CLAIMS IN THE WARRANTY SERVICE SHOP BASED ON THE PYTHON/POSTGRESQL PLATFORM.

Yu.A.Merkulov, M.A. Shushkin

*Ryazan Radio State Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, horek.colupaeva@yandex.ru*

Annotation. The paper considers the practical aspect of the digital transformation of the document flow of the warranty service shop. The object of automation is the lifecycle of the act of satisfying a complaint. In contrast to the general approaches to application management, the article focuses on the structural modeling of material flows (replaced nodes) and the formation of an analytical reliability base. A logical model of a PostgreSQL database is proposed, which takes into account a multidimensional analysis of the causes of failures. The architecture of a Python web application using the Django framework is described, focused on minimizing data entry errors by the shop floor operator. The effectiveness of using a combination of technologies for the transition from paper acts to electronic registers is substantiated.

Keywords: complaint work, PostgreSQL, Python, Django, digitalization of production, act of complaint, database.

Введение

Процесс удовлетворения рекламации в цехе гарантийного обслуживания традиционно завершается формированием итогового документа — Акта удовлетворения рекламации. Этот документ не только фиксирует факт выполнения работ по гарантии, но и является первичным источником данных для расчета показателей надежности выпускаемой продукции. В условиях нецифрового документооборота данные актов оседают в папках архивов, что делает невозможным оперативный анализ повторяющихся дефектов и контроль оборачиваемости запасных частей.

Современные вызовы требуют не просто создания программы для ввода данных, а проведения цифровой трансформации процесса, которая подразумевает:

- Формализацию связи «Дефект — Замененный узел — Причина отказа».
- Обеспечение юридической значимости электронной версии акта (ведение электронного журнала с версионированием).
- Интеграцию справочников материалов и складских остатков цеха.

Цель данной статьи — разработать структуру базы данных PostgreSQL и концепцию веб-интерфейса на Python для управления учетными записями актов рекламации, позволяющую вывести анализ дефектов на качественно новый уровень.

Логическая модель данных в среде PostgreSQL

Ключевое отличие рекламационной базы данных от обычной CRM-системы заключается в необходимости хранения иерархического состава изделия и истории замен компонентов. Простое описание дефекта текстом не позволяет в дальнейшем построить диаграмму Парето по отказам. Поэтому в среде PostgreSQL предложена следующая реляционная модель, состоящая из четырех основных сущностей.

- Таблица «Изделия» (Products): Содержит серийные номера и даты выпуска. В отличие от справочника номенклатуры, здесь важна привязка к конкретной единице техники (экземпляру).
- Таблица «Рекламации» (Claims): Головная сущность, связывающая изделие и заказчика. Статусная модель (OPEN, DIAGNOSTICS, REPAIR, CLOSED).
- Таблица «Акты работ» (WorkActs): Основной объект исследования. Каждый акт является дочерним для рекламации. Здесь хранятся дата, место проведения, фамилия регулировщика и, что критически важно, признан ли случай гарантийным.
- Таблица «Замененные узлы» (ReplacedUnits): Дочерняя для Акта работ. Содержит ссылку на каталожный номер запчасти и причину дефекта.

Использование преимуществ PostgreSQL: Для реализации данной модели в БД задействованы следующие механизмы СУБД:

1. Check Constraints: Для ограничения статусов акта.
2. JSONB поля: В таблице WorkActs предусмотрено поле extra_params типа JSONB для хранения результатов специфической диагностики (например, осциллограммы или коды ошибок контроллера), которые не укладываются в жесткую реляционную схему.
3. Рекурсивные CTE (Common Table Expressions): Для построения дерева отказов (узел верхнего уровня -> субкомпонент).

Функциональные модули веб-приложения на Python

Для взаимодействия оператора цеха с описанной выше БД разрабатывается веб-приложение. Выбор фреймворка Django обусловлен его мощной административной панелью, которая может быть использована как базовый интерфейс для технического персонала (инженеров по надежности), что позволяет сократить время разработки.

I. Модуль формирования акта (WorkAct Create/Update).

Этот модуль является центральным в процессе цифровой трансформации.

Основная задача — минимизировать рутинные действия оператора. Реализована следующая логика:

При вводе серийного номера изделия Python-бэкенд (через Django ORM) автоматически подгружает из PostgreSQL историю предыдущих рекламаций по данному экземпляру. Оператор сразу видит, ремонтировалось ли изделие ранее.

Автоматический расчет статуса гарантии: Python-функция сверяет дату выпуска изделия с датой отказа, используя календарные библиотеки datetime и параметр гарантийного срока, хранящийся в БД. Это исключает человеческий фактор при определении «гарантийный/негарантийный случай».

II. Аналитическая панель.

Одной из ключевых задач цифровой трансформации процесса учета рекламаций является предоставление руководству цеха инструмента для оперативного мониторинга ситуации

и анализа накопленной статистики. Для этого в составе веб-приложения на Python проектируется специализированная аналитическая панель (панель индикаторов).

Аналитическая панель агрегирует данные из таблиц PostgreSQL и представляет их в наглядном графическом виде, доступном через обычный веб-браузер. В состав аналитической панели включены следующие информационные блоки:

Динамика поступления рекламаций: Линейный график, отображающий количество зарегистрированных рекламаций по неделям или месяцам. Позволяет выявить сезонные колебания нагрузки на цех и спланировать штатное расписание.

Наиболее часто отказывающие узлы: Столбчатая диаграмма Парето, построенная на основе агрегации данных из таблицы «Замененные узлы». Начальник цеха в один клик видит, какие именно компоненты изделий выходят из строя чаще всего. Это позволяет своевременно инициировать мероприятия по усилению входного контроля данных комплектующих или изменению конструкции изделия.

Среднее время удовлетворения рекламации: Карточка с KPI-показателем, рассчитанным как разница между датой закрытия акта и датой приема изделия. Позволяет оценивать эффективность работы конкретных мастеров и регулировщиков, а также выявлять «узкие места» в технологической цепочке ремонта.

Распределение причин отказов: Круговая диаграмма, показывающая соотношение гарантийных случаев, вызванных производственными дефектами, ошибками проектирования, нарушением правил эксплуатации заказчиком и естественным износом. Эта информация является ключевой для принятия управленческих решений о модернизации продукции или корректировке инструкций по эксплуатации.

Технически аналитическая панель реализуется с использованием библиотек Pandas (для выборки и агрегации данных из БД) и Plotly (для построения интерактивных графиков, позволяющих пользователю наводить курсор на элементы диаграммы для просмотра точных значений).

III. Обеспечение достоверности данных в процессе трансформации

При внедрении цифровой системы в производственный цех остро встает вопрос доверия к данным. Акт удовлетворения рекламации является финансовым документом, на основании которого может производиться списание дорогостоящих запасных частей и учет трудозатрат. Следовательно, система должна гарантировать невозможность несанкционированного или случайного изменения данных задним числом.

В предлагаемой архитектуре реализуются два взаимодополняющих механизма защиты информации:

1. Разграничение прав доступа на уровне веб-приложения (Django): В системе настраивается ролевая модель, соответствующая организационной структуре цеха:

- Регулировщик: Может вносить данные в таблицу «Замененные узлы» и менять статус заявки в процессе ремонта. Не имеет права изменять дату поступления изделия или данные заказчика.
- Начальник участка: Имеет доступ к аналитической панели и право финального утверждения акта (перевод документа в статус «Закрыт»). Только пользователи с этой ролью могут вносить исправления в уже закрытый акт, при этом система принудительно запрашивает комментарий с обоснованием причины корректировки.

2. Аудиторский след на уровне базы данных (PostgreSQL): Права доступа, настроенные в Django, могут быть обойдены при наличии прямого административного доступа к серверу базы данных. Для обеспечения неотрекаемости и возможности проведения служебных расследований на уровне СУБД PostgreSQL создается система журналирования изменений (триггерный аудит):

- Для критически важной таблицы WorkActs создается теньевая таблица WorkActs_Audit.
- Создается триггерная функция на языке PL/pgSQL, которая автоматически срабатывает при любой попытке обновления (UPDATE) или удаления (DELETE) записи в таблице актов.
- Триггерная функция копирует предыдущее состояние строки (до внесения изменений) в таблицу WorkActs_Audit, добавляя служебные поля: временную метку изменения (changed_at), имя пользователя базы данных, под которым работало приложение (changed_by), и IP-адрес клиента.

Данный журнал недоступен для редактирования или удаления через стандартный веб-интерфейс. Просмотр журнала аудита возможен только уполномоченным лицом (например, сотрудником службы качества или IT-аудитором) через специализированный SQL-запрос, что гарантирует сохранность истории изменений даже в случае попытки фальсификации данных.

Заключение

Переход от бумажного учета к автоматизированной системе учета актов рекламаций на основе PostgreSQL и Python представляет собой не просто замену журнала на компьютер, а качественный скачок в управлении качеством. Предложенная в работе структура базы данных позволяет не только фиксировать факт выполнения гарантийных обязательств, но и накапливать структурированную статистику для инженерного анализа надежности. Использование веб-интерфейса снижает порог входа для сотрудников цеха, а заложенные в архитектуру PostgreSQL и Django механизмы обеспечивают целостность и неизменность отчетной документации. Дальнейшее развитие системы видится в интеграции со сканерами штрих-кодов на складе запчастей для автоматического списания материалов при формировании акта.

Библиографический список

1. Шёнталер Ф., Фоссен Г., Обервайс А. Бизнес-процессы: языки моделирования, методы, инструменты. — М.: Альпина Паблишер, 2019. — 264 с.
2. Форсье Дж., Биссекс П., Чан У. Django. Разработка веб-приложений на Python. — СПб.: Символ-Плюс, 2018. — 456 с.
3. Лутц М. Программирование на Python. Том 1, 2.

УДК 004.021; ГРНТИ 50.47.02

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЛЕРА БЛОЧНОГО ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ПУНКТА

А.А. Елец, Ю.А. Меркулов

Рязанский государственный радиотехнический университет
Рязань, locksan@aa-elets.ru

Аннотация. В статье рассматриваются принципы разработки программного обеспечения для автоматизации блочного индивидуального теплового пункта с использованием оборудования ОВЕН. Описываются архитектура системы, порядок обработки данных датчиков, методы регулирования тепловых процессов, а также логика управления исполнительными механизмами и аварийной диагностики. Отдельное внимание уделено структуре обмена данными между программируемым реле ПР200 и панелью оператора СПК107, а также реализации интерфейса для взаимодействия с пользователем. Разработанные алгоритмы обеспечивают устойчивую, безопасную и энергоэффективную работу теплового пункта.

Ключевые слова: блочный тепловой пункт, разработка управления на базе Owen

SOFTWARE DEVELOPMENT FOR THE CONTROLLER OF A BLOCK INDIVIDUAL HEATING POINT

A.A. Elets, Yu.A. Merkulov

Ryazan State Radio Engineering University

Ryazan, locksan@aa-elets.ru

Abstract. The article discusses the principles of software development for automation of a block individual heating point using ARIES equipment. The architecture of the system, the procedure for processing sensor data, methods for regulating thermal processes, as well as the logic of control of actuators and emergency diagnostics are described. Special attention is paid to the structure of data exchange between the programmable relay PR200 and the operator panel SPK107, as well as the implementation of the interface for interaction with the user. The developed algorithms ensure the stable, safe and energy-efficient operation of the thermal point.

Keywords: block thermal point, control development based on Owen

Введение

Современный блочный индивидуальный тепловой пункт требует наличия надежного и предсказуемого программного обеспечения, способного поддерживать работу оборудования в условиях меняющихся тепловых нагрузок, колебаний давления и возможных отказов датчиков. Отличительной особенностью теплотехнических систем является высокая инерционность процессов, что накладывает дополнительные требования к устойчивости алгоритмов и качеству обработки входных данных. Программируемое реле ПР200 выполняет функции локального управления и защиты, обеспечивая выполнение основных технологических операций. Панель СПК107 используется для визуализации работы системы, настройки параметров и передачи данных в диспетчеризацию. Обе части системы должны функционировать согласованно, обеспечивая надежную последовательность операций и понятный контроль для оператора.

Архитектура программно-аппаратного комплекса

Архитектура системы управления БИТП построена на принципе разделения функций между нижним и верхним уровнями [2]. Нижний уровень представлен программируемым реле ПР200, которое отвечает за выполнение основной логики управления, работу с датчиками и исполнительными механизмами, формирование аварийных состояний и выполнение защитных алгоритмов. Верхний уровень представлен СПК107, обеспечивающей визуальное отображение параметров, ввод уставок, выбор режимов работы, просмотр графиков и архивов аварий, а также передачу данных на диспетчеризацию. Связь между устройствами осуществляется по протоколу Modbus RTU, что обеспечивает стабильный обмен данными и независимость уровней: даже при отказе панели операторского интерфейса ПР200 продолжает управлять оборудованием в автономном режиме. НСА-алгоритм находит веса признаков, используя диагональную адаптацию НСА алгоритма с регуляризацией. Веса несущественных признаков близки к нулю.

Логика управления и аварийная диагностика

Центральным элементом программной логики управления блочным индивидуальным тепловым пунктом является макрос «ДАТЧ ТЕМП», обеспечивающий обработку, линеаризацию и диагностику всех температурных датчиков, применяемых в системе. Именно через этот макрос проходят данные, определяющие работу отопительного контура, контура ГВС и системы безопасности. Макрос служит базовой единицей вычислений, на которую опираются алгоритмы регулирования, управления насосами и формирования аварийных сигналов.

Его структурная схема включает блоки линеаризации, выбор типа датчика, фильтрацию и контроль корректности сигнала [1].

Макрос «ДАТЧ ТЕМП» способен обрабатывать три типа датчиков: сопротивления Pt100, Pt1000 и токовые датчики 4–20 мА. Для платиновых датчиков применяется расчёт с компенсацией сопротивления линии, позволяющий корректно учитывать удлинительные кабели и исключать ложные отклонения. Токовые датчики вычисляются по заданному диапазону входного тока и диапазону измеряемой величины, что обеспечивает универсальность и возможность работы с широким спектром оборудования. На выходе макрос формирует два сигнала — линеаризованную температуру и признак исправности датчика, что делает алгоритм устойчивым к обрыву, короткому замыканию, шумам и другим типовым неисправностям.

На основе данных макроса реализована логика управления насосами, клапанами и регулирующими устройствами теплового пункта. Температура подачи и температура обратки, получаемые через макрос, участвуют в погодозависимом регулировании: если наружная температура понижается, заданная температура подачи увеличивается, а при увеличении температуры обратки реализуется корректирующее снижение управляющего сигнала для предотвращения перегрева и повышения энергоэффективности. Аналогично, полученная температура ГВС используется для точного регулирования трёхпозиционного клапана, обеспечивая стабильность горячего водоснабжения.

Логика управления насосным оборудованием построена на принципах ротации и резервирования. Программируемое реле анализирует исправность насосов по дискретным входам, учитывает срабатывание реле перепада давления, температуру обмотки и другие параметры. В случае выявления отклонений основной насос плавно выключается, а управление передается резервному. В алгоритм встроены задержки на фиксацию изменения состояния, которые предотвращают ложные переключения при гидравлических колебаниях или кратковременных нарушениях режима.

Аварийная диагностика интегрирована в общую логику управления и базируется на непрерывном контроле всех входных сигналов. При неисправности датчика температура не используется в регулировании, а система переходит в заранее определённый безопасный режим. При авариях насосов, некорректной работе клапана, отсутствии давления или перегреве формируются соответствующие аварийные флаги. Эти данные передаются на панель оператора и используются для индикации текущего состояния, автоматического блокирования оборудования и предотвращения дальнейшего развития аварийной ситуации. Все аварии фиксируются в журнале, что обеспечивает возможность анализа работы оборудования и выявления повторяющихся отклонений.

Система обмена данными и интерфейс оператора

Коммуникация между ПР200 и СПК107 организована по протоколу Modbus RTU, где данные передаются через упорядоченную структуру регистров. Логические состояния объединяются в битовые поля, а аналоговые величины масштабируются до целых чисел, что обеспечивает компактность и высокую скорость обмена. Структура данных создавалась таким образом, чтобы при расширении функционала сохранялась совместимость с существующей адресацией и логикой диспетчеризации [3].

Интерфейс оператора отображает информацию, поступающую от ПР200, в наглядной визуальной форме. На экранах СПК107 оператор видит температуры подачи и обратки, состояние насосов, положение клапанов, графики изменения параметров, текущие уставки и активные аварии. Управление реализовано через удобные меню, позволяющие изменять параметры, переключать режимы и просматривать архивы аварийных сообщений. Цветовая индикация и структурированная навигация снижают вероятность ошибок и повышают эффективность управления. Благодаря грамотной организации обмена данными панель обнов-

ляет информацию в реальном времени, обеспечивая точное и своевременное отображение процессов.

Выводы

Разработанное программное обеспечение обеспечивает надёжную, безопасную и энергоэффективную работу блочного индивидуального теплового пункта. Применение программируемого реле ПР200 для выполнения логики управления и панели СПК107 для визуализации параметров обеспечивает устойчивость к отказам и удобство эксплуатации. Унифицированная обработка данных, адаптивное регулирование и развитая система диагностики позволяют достигать высокого качества управления тепловыми процессами. Архитектура системы легко расширяется, что делает решение актуальным для модернизации существующих тепловых пунктов и внедрения интеллектуальных алгоритмов оптимизации.

Библиографический список

1. И.А. Щербakov, Д.В. Козлов "Алгоритмы управления температурой в индивидуальных тепловых пунктах" // Журнал "Автоматизация в промышленности", 2023, №5.
2. Е.М. Кузьмина, А.В. Лашина, В.А. Лашин РГРТУ им. В.Ф. Уткина Микроконтроллеры в системах управления
3. Овен/ Документация «Электронный ресурс» URL: <https://docs.owen.ru/>

УДК 656.01; ГРНТИ 73.43.01

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ОПТИМАЛЬНЫХ ПЛАНОВ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГУСТОНАСЕЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Ю.А. Меркулов, М.В. Ленков

*Рязанский государственный радиотехнический университет
Рязань, Merkulov-UA@mai.ru*

Аннотация. В данной работе описано использование нейронных сетей для разработки оптимальных планов развития транспортных систем густонаселенных территорий.

Ключевые слова: транспортная система, густонаселенная территория, эффективность транспортной системы, оптимизация транспортной системы, нейронная сеть, обучающая выборка

APPLICATION OF NEURAL NETWORKS FOR DEVELOPMENT OF OPTIMAL PLA FOR DEVELOPMENT OF TRANSPORT SYSTEMS OF DENSELY POPULATED TERRITORIES

Yu.A. Merkulov, M.V. Lenkov

*Ryazan State Radio Engineering University
Ryazan, Merkulov-UA@mail.ru*

Abstract. This paper describes the use of neural networks to develop optimal plans for the development of transport systems in densely populated areas.

Keywords: transport system, densely populated area, efficiency of transport system, optimization of transport system, neural network, training sample

Введение

Современное состояние транспортных систем густонаселенных территорий характеризуется наличием ряда проблем, связанных с организацией и качеством транспортного обслуживания населения данных территорий. Ускорение процессов урбанизации и повышение уровня автомобилизации населения привели к тому, что транспортные заторы стали

обычным явлением, что не только ухудшает качество жизни городского населения, но и приводит к возникновению проблем в области социально-экономического и инфраструктурного развития, снижает общий уровень конкурентоспособности территории.

Для решения данных проблем необходимо применение современных инструментов управления, позволяющих быстро и качественно получить результаты с минимальными трудозатратами. Одним из таких инструментов являются нейронные сети.

Применение модели эффективности транспортнолй системы густонаселенной перритории

В результате применения вышеприведенной методики, определяются уровни каждого типа эффективности и общий показатель эффективности транспортной системы густонаселенной территории. В случае, если уровень эффективности признается низким, необходимо разработать мероприятия для увеличения данного уровня. С данной целью была разработана методика, состоящая из ряда взаимосвязанных этапов (рис. 1).

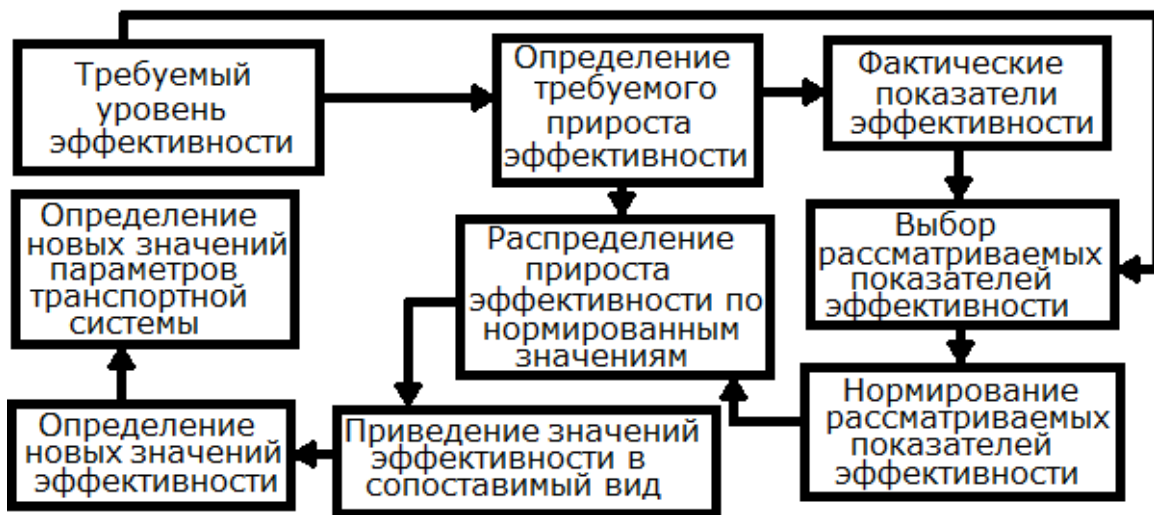


Рис. 1. Схема определения необходимых изменений уровня эффективности

Рассмотрим разработанную методику подробнее [1]

1. Установление требуемого уровня эффективности (Эт). Идеальным вариантом является установление требуемого уровня на уровне 1, но, как правило, значение устанавливается меньшим единицы.

2. Выявление необходимого прироста эффективности. Производится путем определения разности между требуемым уровнем эффективности и ее фактическим уровнем:

$$\Delta \text{Э} = \text{Эт} - \text{Эф} ,$$

где $\Delta \text{Э}$ – необходимый прирост эффективности; Эф – значение фактической эффективности.

3. Исключение из рассмотрения показателей эффективности, для которых выполняется условие $\text{Эф} \geq \text{Этр}$

4. Нормирование оставшихся в рассмотрении показателей фактической эффективности.

$$\text{Э}_n^i = \frac{\text{Э}_\phi^i}{\sum_{i=1}^n \text{Э}_\phi^i} ,$$

где Э_n^i - нормированное значение эффективности; n – количество показателей эффективности, оставшихся в рассмотрении.

В результате реализации данного этапа формируется матрица нормированных значений эффективности.

5. Распределение прироста эффективности по матрице нормированных значений эффективности.

$$\Delta \mathcal{E}_p^i = \Delta \mathcal{E} * \mathcal{E}_n^i,$$

где $\Delta \mathcal{E}_p^i$ - элементы матрицы распределенного прироста эффективности.

6. Приведение распределенного прироста эффективности к сопоставимому виду со значениями фактической эффективности. Учет действие весового коэффициента, используемого при вычислениях эффективности, так как в расчетах используются взвешенные показатели эффективности:

$$\Delta \mathcal{E}_{пр}^i = \Delta \mathcal{E}_p^i * a^i,$$

где $\Delta \mathcal{E}_{пр}^i$ - элемент матрицы приведенных к сопоставимому виду показателей прироста эффективности; a^i - весовой коэффициент значимости i-го показателя эффективности.

7. Получение итоговых значений показателей эффективности. Производится путем нахождения суммы исходных значений фактических показателей эффективности и приведенного в сопоставимый вид распределенного значения прироста эффективности.

$$\mathcal{E}_ф^n = \mathcal{E}_ф^i + \Delta \mathcal{E}_{пр}^i,$$

где $\mathcal{E}_ф^n$ - новое значение фактического показателя эффективности.

После определения требуемых уровней эффективности необходимо перейти к определению новых значений количественных параметров транспортной системы густонаселенной территории. Рассмотрим осуществление данного перехода для каждого типа эффективности [2].

1. *Экономическая эффективность.* В соответствии с разработанной методикой определяется эффективность для каждого рассматриваемого пути корреспонденции населения. Затем определяется новое фактическое время перемещения по данному участку улично-дорожной сети по следующей формуле:

$$T_ф = (T_э * P) / \mathcal{E}_ф^n.$$

На основе требуемого фактического времени проезда рассматриваемого участка улично-дорожной сети разрабатывается комплекс мероприятий по увеличению пропускной способности данного участка.

2. *Социальная эффективность.* Способы определения новых фактических параметров по каждому показателю социальной эффективности приведены в таблице 2.

Таблица 2. Способы определения новых параметров транспортной системы

№	Наименование элемента	Способ расчета
1	Остановочные комплексы	Согласно разработанной методике
2	Остановочная сеть	$O_c = S_{мск} / 0,5 \times 2$
3	Пешеходные переходы	$P_ф = P_э * x_3$
4	Парковочные места	$P_k = 0,75 A_v * x_4$
5	Маршрутная сеть	Согласно разработанной методике
6	Возраст транспортных средств	Согласно разработанной методике
7	Безопасность	$P_{Дл} = N / 250 \times 7$
8	Расписание общественного транспорта	Согласно разработанной методике

Применение разработанной методики для указанных показателей социальной эффективности имеет следующие особенности.

Остановочные комплексы учитываются без весовых коэффициентов, а итоговое значение эффективности выводится, как среднее арифметическое, следовательно, в п. 6 разработанной методики применяется умножение на количество рассматриваемых в расчете остановок. Аналогично производится расчет для показателей маршрутной сети.

Расписание общественного транспорта. Нормирование происходит по взвешенной оценке, в качестве весов используются мощности пассажиропотока по маршрутам. Распределенное расхождение переводится во взвешенное значение. Общая взвешенная эффективность очищается от действия весов. Затем определяется новая величина интервала по следующей формуле:

$$I_{\text{ф}} = x_8 * I_{\text{э}}$$

3. *Экологическая эффективность.* На первой итерации, по разработанной методике определяется эффективность по каждому типу загрязняющих веществ. Затем, определяются требуемые уровни концентрации загрязняющих веществ по следующей формуле:

$$K_{\text{н}} = \text{ПДК} / \text{Эк},$$

где $K_{\text{н}}$ - новая концентрация загрязняющего вещества, ПДК – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества, Эк – новый уровень экологической эффективности по данному загрязняющему веществу.

Применение нейронных сетей для разработки оптимальных планов развития транспортных систем

Применение разработанной методики сопряжено с достаточно большим объемом вычислений, что делает ее достаточно трудоемкой и затратной по времени. Избежать данных недостатков можно при помощи использования нейронных сетей. Рассмотрим применение нейронных сетей для определения оптимального возраста транспортных средств общественного транспорта.

Для построения нейронной сети использовалась программа NeuroNet, находящаяся в открытом доступе. Она позволяет строить нейронные сети и визуализировать их построение, обучать нейронные сети и производить при их помощи расчеты. Отличительной особенностью программы является то, что входные данные и полученные результаты выражены долями единицы. Данное обстоятельство согласуется с разработанной методикой эффективности.

Построение нейронной сети производится по следующей методике.

А) Определение параметров нейронной сети. Сеть будет иметь четыре слоя нейронов: слой входных данных, два скрытых слоя, слой выходных данных. Для рассматриваемого примера, когда речь идет о трех типах общественного транспорта (муниципальный троллейбус, муниципальных автобус, коммерческий автобус) слой входных данных будет иметь девять нейронов: три нейрона иллюстрируют актуальный средний возраст каждого типа общественного транспорта, три нейрона иллюстрируют текущие показатели эффективности возраста общественного транспорта, три нейрона иллюстрируют плановые показатели эффективности возраста каждого типа общественного транспорта.

Скрытые слои будут включать по десять нейронов каждый, так как данного количества достаточно для точной и адекватной работы сети.

Слой выходных данных включает в себя три нейрона, иллюстрирующие необходимый средний возраст транспортных средств каждого типа общественного транспорта.

Б) Построение нейронной сети в программном продукте. Результат построения сети приведен на рис 2.

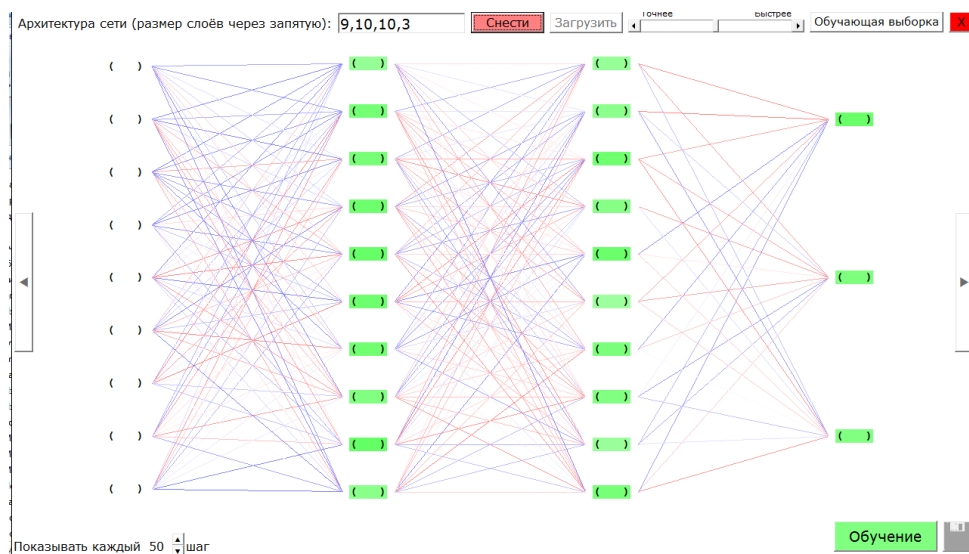


Рис. 2. Построенна нейронная сеть

Программный продукт позволяет вводить данные для нейронов входного слоя, затем сеть производит расчеты и выводит итоговый результат.

В) Создание и ввод обучающей выборки. Для функционирования нейронную сеть необходимо обучить. Для этого необходимо подготовить обучающую выборку – совокупность входных данных и выходных результатов. Чем больше будет размер обучающей выборки, тем точнее будет работа нейронной сети. В рассматриваемом случае обучающая выборка будет представлять собой двенадцать чисел, являющимися вариантом входных данных (девять чисел) и итоговых результатов (три числа). Учитывая, что программный продукт позволяет вводить данные в интервале от 0 до 1, то возраст транспортных средств необходимо интерпретировать в долях единицы. В рамках решаемой задачи была принята следующая система интерпретации: один год – 0,01 (10 лет – 0,1, 5 лет – 0,05). Данные об эффективности в дополнительной интерпретации не нужны, так как изначально получены в долях единицы.

Обучающая выборка рассчитывается по разработанной методике вручную. В данном случае, были рассчитаны 50 вариантов данных. Затем, они были внесены в нейронную сеть (рис. 3).

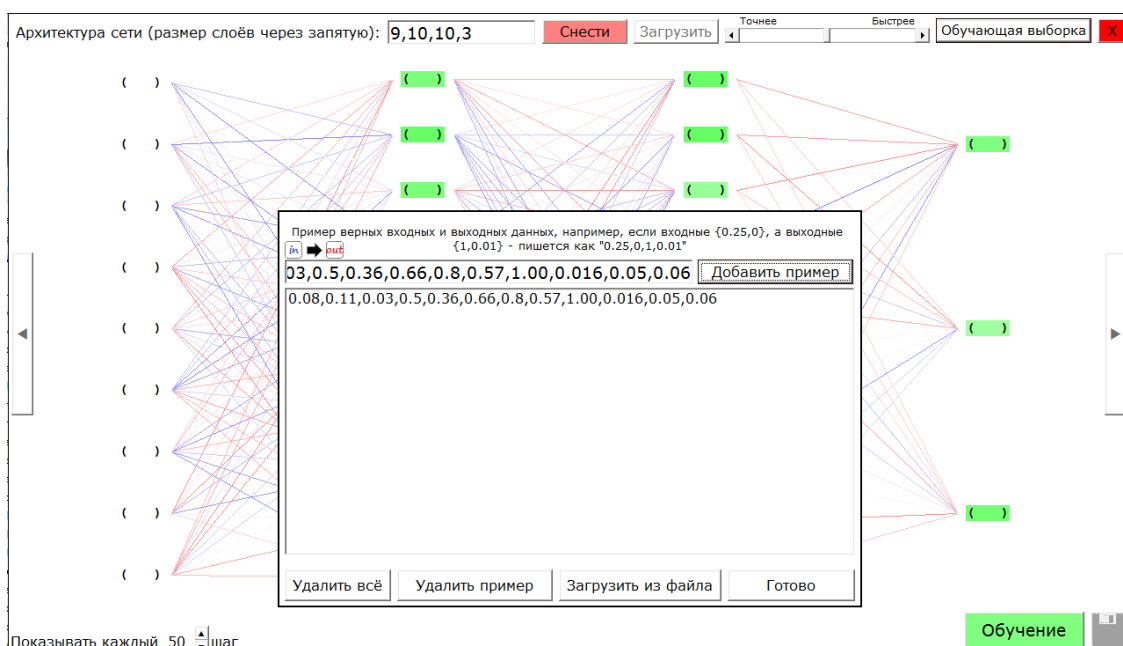


Рис. 3. Ввод обучающей выборки

Г) Обучение сети. Функции программного продукта позволяют провести обучение нейронной сети до достижения приемлемого уровня точности (рис. 4).

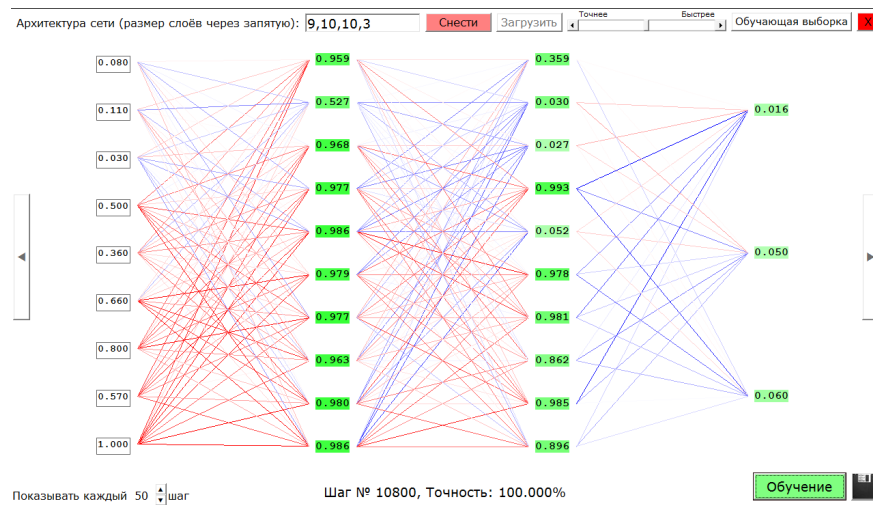


Рис. 4. Результаты обучения нейронной сети

В данном случае, через 10 800 шагов обучения нейронная сеть достигла точности получаемых данных в 100%, что позволяет использовать ее на практике.

Построенная и обученная нейронная сеть может использоваться в практической деятельности. Вводя в слой входных данных информацию о конкретном и желаемом состоянии возраста маршрутных транспортных средств общественного транспорта будет получена информация о необходимом возрасте с учетом достижения желаемого уровня эффективности

Аналогичным образом строятся и обучаются нейронные сети для остальных показателей, что позволяет на выходе сгенерировать необходимую информацию для создания комплексного плана развития транспортной системы густонаселенной территории.

Заключение

Применение разработанной модели эффективности транспортной системы густонаселенной территории для формирования оптимальных планов развития транспортной системы сопряжено с большими временными и трудовыми затратами. Разработка и применение для этих целей нейронных сетей позволяет сделать данный процесс более быстрым, точным и менее затратным. Комплекс нейронных сетей, разработанный для каждого элемента транспортной системы позволяет быстро разрабатывать оптимальные планы развития транспортных систем густонаселенных территорий.

Библиографический список

1. Меркулов Ю.А., Ленков М.В. Существующие подходы к управлению транспортной системой густонаселенной территории. // Новые информационные технологии в научных исследованиях. Материалы XXVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань, 2022. Т. 1. С. 51-52.
2. Меркулов Ю.А., Ленков М.В. Разработка прикладной модели эффективности городской транспортной системы // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2023. Сборник трудов VI международного научно-технического форума. В 10-ти томах. Под общей редакцией О.В. Миловзорова. Рязань, 2023. Т. 6. С. 148-157.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИЯ О IX МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2026»	3
МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ»	6
Секция «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»	6
Чубаров Д.С., Бодров О.А. Выбор оптимального метода интерполяции для обработки спутниковых изображений.....	6
Кокунов А.А., Таганов А.И., Цыцына М.И. Формализмы верификации и оценки качества программного обеспечения геоинформационных систем на основе объектно-ориентированных метрик.....	10
Сафонов Ф.В., Таганов А.И., Кокунов А.А. Определение степени важности требований программного проекта по характеристикам качества в условиях нечеткости.....	16
Кокунов А.А., Таганов А.И. Моделирование процессов жизненного цикла программного обеспечения на основе концепции многомерного алгоритмического процесса.....	23
Кокунов А.А., Таганов А.И. Алгоритмическое обеспечение анализа надежности в рамках мониторинга процессов жизненного цикла программного обеспечения.....	29
Соколов К.И., Макарова Н.В. Нейросетевая коррекция пространственно-частотных искажений на спутниковых изображениях.....	35
Линьков В.А., Гаськова С.Ю. Предполетное тестирование поисковых бинарных космических аппаратов, работающих в точках лагранжа с помощью микроструктурированной пыли, полученной из фрагментов метеоритного дождя Дронино.....	38
Кондрашова Т.И. Проектирование и реализация интеллектуальной базы данных для корпоративной геоинформационной системы на базе PostgreSQL/PostGIS.....	48
Горобченко А.С., Егин М.М., Соколова Ю.С. Использование свёрточной нейронной сети для обнаружения изменений изображений площадной съёмки.....	52
Беляев Е.Ю., Ларюков С.А. Разработка геоинформационной системы мониторинга пожаров по данным космического аппарата «LANDSAT-8/9»	59
Ражаб Аббас Перспективы интеграции математических моделей и методов искусственного интеллекта для повышения отказоустойчивости сетей с программным управлением.....	66
Пресняков О.А., Соловьев А.В., Барышев Ю.М. Оценка бесшовности спутниковых мозаик по окрестностям линий порезов.....	71
Рябинин С.А., Соловьев А.В. Корреляция изображений в задаче уточнения географической привязки в системах глобального наблюдения Земли.....	77
Ушенкин В.А., К.Г. Федотов Сравнительный анализ метрик расстояния при сегментации космических изображений алгоритмом K-средних.....	81

Овчинников В.А. Классификация амплитудных радиолокационных изображений с использованием результатов текстурного анализа.....	87
Князьков П.А., Пантелеев И.А. Технология использования баг-репортов в процессах тестирования программного обеспечения обработки данных ДЗЗ.....	92
Гусев С.И., Кузнецов Л.Л. Сравнение эффективности текстурных признаков Харалика в задаче классификации объектов радиолокационных изображений.....	97
Ларин М.Д., Асаев Е.И., Зайцев А.А., Соловьев А.В. Обнаружение лесных пожаров на спутниковых снимках: классические методы, машинное и глубокое обучение.....	102
Борисов Д.А. Анализ способов портирования десктопного ГИС-приложения в веб-среду: JAVASCRIPT и WEBASSEMBLY.....	106
Колесенков А.Н. Формирование компетенций студентов в области космических технологий через адаптивные образовательные траектории.....	111
Бодров О.А., Поборуева М.С. Интеграция RFID-технологий с блокчейном для отслеживания объектов в IoT.....	115
Бодров О.А., Рихард Т.П. Сравнительный анализ классических и нейросетевых методов селекции целей на R-V картах.....	118
Кулаков Е.А., Бодров О.А., Бодрова И.В. Разработка информационной системы для управления деятельностью общежития вуза.....	122
Пасичняк В.Е. Контурные сплайн-модели для анализа мимических проявлений эмоций: интерпретируемый подход к распознаванию эмоциональных состояний.....	125
Буторин И.И. Метод адаптивного сжатия аэрокосмических изображений на основе факторного анализа.....	129
Бодров О.А., Рождественский А.С. Программная реализация свёрточной нейронной сети для диагностики дефектов солнечных панелей на космических аппаратах.....	134
Секция «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИИ».....	138
Терешина А.А., Тинина Е.В. Анализ автоматизированных информационных систем учёта изделий.....	138
Филатов И.А., Тинина Е.В. Актуальность применения интеллектуальных систем управления в процессах аддитивного производства.....	143
Никольский М.К., Романов И.Н. Проектирование технологического процесса коммутационного устройства.....	148
Городничева Е.В., Сосулин Ю.А. Алгоритм определения допустимой области факторного пространства объектов с ограничениями на значения функции отклика.....	151
Янушкевич К.А. Оптимизация работы учетной системы 1С.....	154
Батистова А.А., Городничева Е.В., Сосулин Ю.А. Построение точных D-оптимальных планов при исследовании объектов с ограничениями на функцию отклика.....	158

Хлебников Н.М., Ленков М.В. Система диспетчеризации автоматизированного управления технологическим комплексом станции по перекачке нефтепродуктов на базе платформы SCADA.....	162
Дунин А.С., Ленков М.В. Комплексный подход к проектированию автоматизированной системы диспетчеризации технических средств противопожарной защиты предприятия на базе технологий IIoT.....	166
Тарудько И.А., Ленков М.В. Проектирование технологического процесса для автоматизированного производства корпусных деталей со сложнопрофильной геометрией в среде САПР T-Flex CAD и ADEM CAM.....	170
Котов В.В., Бобро Е.В., Немтинов В.А. Совершенствование методики контроля качества функционирования станочного оборудования.....	174
Бусаров Н.А., Грибов Н.В., Миловзоров О.В. Автоматизация формирования аналитической отчетности производственного предприятия средствами СУБД и табличного процессора.....	180
Нетесов Г.А., Карпухин Д.Н. Разработка и анализ моделей восстановления обмена данными в распределённых системах управления процессами автономных объектов на базе нейросетевых моделей.....	185
Порнякова Д.А. Методы анализа больших объёмов производственных данных.....	188
Калинин М.Н., Кузьмина Е.М. Анализ автоматизированных информационных систем, используемых на приборостроительных предприятиях.....	193
Крючков Е.М., Романов И.Н. Методика проектирования систем «умного дома» на основе потокового программирования в Node-RED.....	199
Меркулов Ю.А., Шукшин М.А. Цифровая трансформация учета и анализа актов удовлетворения рекламаций в цехе гарантийного обслуживания на основе платформы Python/PostgreSQL.....	203
Елец А.А., Меркулов Ю.А. Разработка программного обеспечения для контроллера блочного индивидуального теплового пункта.....	206
Меркулов Ю.А., Ленков М.В. Применение нейронных сетей для разработки оптимальных планов развития транспортных систем густонаселенных территорий.....	209

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ –
– СТНО-2026**

Научное издание

В 11 томах

Том 6

Под общей редакцией О.В. Миловзорова.

Подписано в печать 15.06.26. Формат 60x84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л..

Тираж 100 экз. Заказ №.

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Редакционно-издательский центр РГРТУ,
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

ISBN 978-5-7722-0449-8



9 785772 204498 >