

На правах рукописи



Волков Денис Андреевич

**МОДЕЛЬ, МЕТОД И НЕЙРОСЕТЕВОЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники
и систем управления**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Курск - 2020

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет».

Научный руководитель: кандидат технических наук,
Панищев Владимир Славиевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Бехтин Юрий Станиславович,
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный
радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина»,
кафедра автоматики и информационных
технологий в управлении, профессор

кандидат технических наук, доцент,
Бажанов Александр Геральдович,
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный
технологический университет им. В.Г. Шухова»,
кафедра технической кибернетики, доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Защита диссертации состоится «20» ноября 2020 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д212.105.02 при ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» по адресу: 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94 (конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Юго-Западного государственного университета и на сайте <https://swsu.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Титенко Евгений Анатольевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Широкое внедрение устройств вычислительной техники в системы управления на производстве, осуществляющееся в последние десятилетия, – это объективная необходимость, обусловленная усложнением задач управления, повышением объемов информации, которые необходимо обрабатывать в системах управления.

Примером таких устройств являются вычислительные устройства для систем нанесения изображений (этикеток, марок, ценников и т.п.) на подвижный объект. Вычислительные устройства для систем управления процессом нанесения изображений на объекты позволяют решать следующие задачи: обработка информации от первичных датчиков различной физической природы (датчиков температуры, движения или объекта), расчет необходимых параметров для системы управления, ввод настроечных параметров, а также формирование управляющих воздействий для исполнительных механизмов. В таких системах для формирования различных изображений с целью наблюдения и контроля состояния объектов используются оптико-электронные устройства распознавания изображений, необходимым свойством которых является обеспечение точности нанесения изображения на объект (анализ и распознавание изображения с целью выявления нарушений формы и позиционирования).

Однако, существующие устройства распознавания для систем нанесения изображений на объекты ориентированы на обработку сигналов от ограниченного набора датчиков и не реализуют в полной мере решение поставленных задач, что, в свою очередь, не позволяет решить задачу контроля нанесения изображения на объект, а также произвести нанесение изображения на объект в реальном масштабе времени.

Таким образом, **актуальной научно-технической задачей** является разработка методов, алгоритмов и оптико-электронных вычислительных устройств, обеспечивающих распознавание изображений на объектах в реальном масштабе времени.

Диссертационная работа выполнена при содействии гранта Президента Российской Федерации по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации НШ-2357.2014.8 «Исследование и разработка комплексного анализа видеоизображений для задач управления сложными техническими системами на основе адаптивных нейро-нечетких систем вывода с мягкими вычислениями», а также в рамках Госзадания №2.3440.2017/4.6 (Разработка методов обеспечения живучести интеллектуальных бортовых систем управления беспилотных транспортных средств).

Целью диссертационной работы является: повышение качества распознавания изображений на объектах.

В соответствии с поставленной целью задача диссертационной работы декомпозируется на следующие частные **задачи:**

1. Анализ состояния вопроса создания оптико-электронных вычислительных устройств распознавания изображений на объектах и существующей элементной базы с целью обоснования выбранного направления исследований.

2. Разработка модифицированной математической модели процесса обработки информации в нейросетевом оптико-электронном вычислительном устройстве распознавания изображений.

3. Создание метода обработки изображения нейросетевым оптико-электронным вычислительным устройством.

4. Разработка структурно-функциональной организации нейросетевого оптико-электронного вычислительного устройства распознавания изображений. Проведение экспериментальных исследований и анализ полученных результатов.

Новыми научными результатами и положениями, выносимыми на защиту, являются:

1. Математическая модель процесса обработки информации в нейросетевом оптико-электронном вычислительном устройстве распознавания изображений, отличающаяся совместной обработкой сигналов оптического, индуктивного и оптико-электронного датчиков, позволяющая формировать управляющее воздействие на шаговый двигатель и обеспечить контроль местоположения изображения.

2. Метод обработки изображения оптико-электронным вычислительным устройством, основанный на анализе изображения наносимого объекта, отличающийся использованием нейросетевого подхода к распознаванию, позволяющий обнаружить нарушение геометрии наносимого изображения.

3. Алгоритм работы микропроцессорного блока в составе оптико-электронного вычислительного устройства для формирования управляющего воздействия на шаговый двигатель, отличающийся возможностью автоматической подстройки частоты вращения двигателя к изменяющейся скорости поступления объектов и изображений.

4. Структурно-функциональная организация оптико-электронного вычислительного устройства для нанесения изображений на объекты, обеспечивающая обработку изображения этикетки в режиме реального времени за счет аппаратной реализации алгоритмов обработки изображения, отличающаяся введением блока нейросетевой обработки и микроконтроллера для расчета и формирования управляющих воздействий.

Объект исследований – процессы обработки информации в оптико-электронных вычислительных устройствах.

Предмет исследований – методы, алгоритмы и оптико-электронные вычислительные устройства для систем нанесения изображений на объекты.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались методы цифровой обработки сигналов и изображений, математического программирования и моделирования, теория нейронных сетей, теория измерений, теория проектирования ЦВМ, аналитические и экспериментальные исследования.

Практическая ценность работы состоит в том, что ее результаты являются основой для создания оптико-электронных вычислительных устройств для систем управления нанесением изображений на объекты, позволяющих выполнять предварительную обработку изображения, обеспечивать адаптивную подстройку системы, и могут использоваться при разработке систем технического зрения в различных отраслях промышленности и роботов на мобильной платформе, функционирующих в реальном масштабе времени.

Результаты проведенных исследований позволяют понизить погрешность установки скорости работы двигателя до 4,6% по сравнению с известным устройством, повысить точность распознавания контуров изображений до 90%.

Реализация и внедрение. Результаты, полученные в диссертационной работе, использовались в процессе проектирования комплекса инженерно-технических средств обработки изображений в АО «ПК Кристалл-Лефортово», а также используются в учебном процессе в Юго-Западном государственном университете в рамках направления подготовки 09.04.01 – «Информатика и вычислительная техника» при проведении занятий по дисциплинам «Современные проблемы науки и производства», «Цифровая обработка и анализ изображений».

Соответствие паспорту специальности. Согласно паспорту специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления, проблематика, рассмотренная в диссертации, соответствует пунктам 1 и 2 паспорта специальности (1. Разработка научных основ создания и исследования общих свойств и принципов функционирования элементов, схем и устройств вычислительной техники и систем управления в части разработки принципов функционирования оптико-электронного вычислительного устройства. 2. Теоретический анализ и экспериментальное исследование функционирования элементов и устройств вычислительной техники и систем управления в нормальных и специальных условиях с целью улучшения технико-экономических и эксплуатационных характеристик в части разработки алгоритмов и устройств, обеспечивающих улучшение эксплуатационных характеристик оптико-электронного вычислительного устройства для системы управления нанесением изображений на объекты).

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и получили положительную оценку на международных и российских конференциях: 12-й Международной конференции «Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание-2015» (Курск, 2015г.), 69-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ - 2015» (Москва, 2015г.), 70-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ - 2016» (Москва, 2016г.), 4-й региональной научно-технической конференции «Информационно-измерительные диагностирующие и управляющие системы. Диагностика – 2016» (Курск, 2016г.), 6-й Всероссийской очной научно-практической конференции «ИИС-2018» (Курск, 2018г.), а также на научно-технических семинарах кафедры «Вычислительная техника» Юго-Западного государственного университета с 2013 по 2019г.

Публикации. Основные результаты диссертации отражены в 7 печатных работах. Среди них 3 статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень журналов и изданий, рекомендуемых ВАК.

Личный вклад автора. В работах, опубликованных в соавторстве, лично соискателем предложены: в [1, 2] – модель процесса обработки изображений и метод обработки изображений, в [4, 6] – алгоритм функционирования нейросетевого оптико-электронного вычислительного устройства распознавания изображений, в [2, 4] – принципы функционирования и структурные схемы блоков оптико-электронного вычислительного устройства.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения. Работа содержит 108 страниц основного текста, в том числе 34 рисунка, 12 таблиц, список использованных источников из 102 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи исследования, представлены положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе проведен анализ состояния вопроса создания оптико-электронных вычислительных устройств распознавания изображений на объектах и существующей элементной базы с целью обоснования выбранного направления исследований. Проведен сравнительный анализ современных первичных преобразователей для систем управления нанесением изображений на объекты, а также методов обработки информации, используемых в них.

Анализ показал, что существующие устройства для систем нанесения изображений на объекты ориентированы на обработку сигналов от ограниченного набора датчиков, что, в свою очередь, не позволяет, с одной стороны, решить задачу контроля нанесения этикетки и, с другой стороны, осуществить нанесение изображений на объекты в реальном масштабе времени.

Сделан вывод о перспективности совершенствования оптико-электронных вычислительных устройств распознавания изображений на объектах для систем контроля и управления путем аппаратной реализации функций программного обеспечения и создания функциональных расширителей с возможностью нейросетевой обработки и использования первичных преобразователей. Повышение скорости работы оптико-электронных устройств обработки изображений может быть достигнуто за счет распараллеливания процессов вычислений на уровне вычислительной структуры устройств обработки. Вследствие этого возникла необходимость разработки оптико-электронного вычислительного устройства для системы управления нанесением изображений на объекты, обеспечивающего выполнение поставленных задач в реальном масштабе времени.

Во второй главе разработаны математическая модель процесса обработки информации в оптико-электронном вычислительном устройстве для системы управления нанесением изображений на объекты и метод обработки изображений.

Для построения математической модели процесса обработки информации в оптико-электронном вычислительном устройстве необходимо получать объективную информацию от следующих датчиков: оптического, индуктивного и оптико-электронного.

Математическая модель процесса обработки информации описывается в виде:

$$U_{\text{вых}} = \langle x_o^*(t), Y_g \rangle, \quad (1)$$

где $x_o^*(t)$ - управляющее воздействие на исполнительный механизм (шаговый двигатель) формируется на основе сигналов от дискретного оптического и индуктивного датчиков, Y_g - выходной сигнал нарушения положения этикетки.

При этом

$$x_{\delta}^*(t) = C_1(x_o^*(t), x_u^*(t)), \quad (2)$$

где $x_o^*(t), x_u^*(t)$ - сигналы от дискретного оптического и индуктивного датчиков соответственно, C_1 - функция преобразования.

Выходной сигнал дискретного оптического датчика $x_o^*(t)$ записывается в виде

$$x_o^*(t) = \sum_{n=0}^{\infty} x_o[nT_1] \delta(t - nT_1), \quad (3)$$

где $x[nT]$ - функция, которая представляет собой значение непрерывной функции в дискретные моменты времени, $\delta(t)$ - дельта функция.

Выходной сигнал индуктивного датчика $x_u^*(t)$ представлен выражением

$$x_u^*(t) = \sum_{n=0}^{\infty} x_u[nT_2] \delta(t - nT_2). \quad (4)$$

Таким образом, сигналы от дискретного оптического и индуктивного датчиков (3, 4) рассматриваются в виде суммы $\delta(t)$ - функций, площади которых пропорциональны амплитуде передаваемого сигнала, и управляющее воздействие на исполнительный механизм записывается как

$$x_{\delta}^*(t) = \sum_{n=0}^{\infty} x_{\delta}[n \frac{T_0}{T_2}] \delta(t - n \frac{T_0}{T_2}), \quad \forall \sum_{n=0}^{\infty} x_o[nT_1] \delta(t - nT_1) \neq 0, Y_g = 0,$$

где $T_0 = \frac{1}{f_0}$, f_0 - значения частоты вращения шагового двигателя в предыдущий момент времени.

Выходной сигнал нарушения положения этикетки Y_g представляет собой логическую функцию

$$Y_g = f(\text{angle}(Q(\text{Cont}(CE(S(Y_o(Y))))))), \quad (5)$$

где Y - изображение, получаемое на выходе опико-электронного датчика, Y_o - изображение после фильтрации, S - изображение, получаемое после нейросетевой обработки, CE - контурное описание этикетки, $Cont$ - множество линейных контуров изображения, Q - множество координат вершин обнаруженных четырехугольников, angle - логическая функция проверки выпуклости четырехугольников.

Изображение, получаемое на выходе опико-электронного датчика

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} & \dots & y_{1l} \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} & \dots & y_{2l} \\ y_{31} & y_{32} & y_{33} & \dots & y_{3l} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{m1} & y_{m2} & y_{m3} & \dots & y_{ml} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где y_{ij} - яркость точки исходного изображения с координатами i, j ; m, l - размеры изображения в пикселях.

Изображение после фильтрации представляет собой множество точек

$$Y_o(i, j) = C_2(Y(i - n_1, j - n_2), size, O(k), O_{\max}, O_{\min}, O_{med}), \quad (7)$$

$$0 \leq i \leq m, 0 \leq j \leq l, 0 \leq n_1 \leq m, 0 \leq n_2 \leq l, 0 \leq k \leq n_1 \cdot n_2 - 1,$$

где n_1, n_2 – размеры окна обработки, определяемые параметром $size$,

$$\forall k \in [0 \dots (n_1 \cdot n_2 - 1)], O(k) = Y(i - n_1, j - n_2),$$

$$(0 \leq i \leq n_1, 0 \leq j \leq n_2),$$

$$O_{\max} = \max[O(k)],$$

$$O_{\min} = \min[O(k)],$$

$$O(k): o_1 = \min(o_0, o_1, \dots, o_{n_1 \cdot n_2 - 1}) \leq o_{(1)} \leq o_{(2)} \leq \dots \leq o_{n_1 \cdot n_2 - 1} = \max(o_0, o_1, \dots, o_{n_1 \cdot n_2 - 1}),$$

$$O_{med} = O\left[\frac{n_1 \cdot n_2 - 1}{2} + 1\right].$$

Изображение S представляет собой результат обработки изображения нейросетью

$$s_j(n) = \sum_{i=0}^{p-1} w_{ij}(n) y_i(n), \quad (8)$$

где $s_j(n)$ – выходы нейросети, p – количество входов сети, $j=0, 1, \dots, mm$, mm – количество выходов, $w_{ij}(n)$ – матрица весов. При обучении веса формируются по правилу:

$$\Delta w_{ji}(n) = \eta \left[s_j(n) y_i(n) - s_j(n) \sum_{k=0}^j w_{ki}(n) s_k(n) \right],$$

где $i=0, 1, \dots, p-1$; $j=0, 1, \dots, mm$, η – размер шага, функция активации – сигмоидальная.

Контурное описание этикетки CE формируется на основе множества линейных контуров $Cont$

$$CE = C_3(Cont(S)), \quad (9)$$

где C_3 – функция расчета коэффициентов искажения по четырем сторонам этикетки и коррекция.

Множество линейных контуров $Cont$ формируется следующим образом

$$Cont = C_4(c_i, p_i^{(w)}_{\max}), \quad (10)$$

где c_i – множество контуров, $i=0, 1, \dots, C-1$, C – количество контуров, $p_i^{(w)}_{\max}$ – контур с наибольшим значением периметра описанного вокруг него прямоугольника

$$p_i^{(w)}_{\max} = \max \left(2 \left(x_i^{(\bar{w})} - x_i^{(w)} \right) + 2 \left(y_i^{(\bar{w})} - y_i^{(w)} \right) \right), \quad (11)$$

$x_i^{(\bar{w})}, x_i^{(w)}, y_i^{(\bar{w})}, y_i^{(w)}$ – координаты вершин прямоугольника, входящие в множество Q ,

$$Q = \left\{ \langle x_l, y_l \rangle_{j=1, N_i} \right\}, |Q| = 4. \quad (12)$$

Логическая функция проверки выпуклости четырехугольников $angle$ определяется следующим образом

$$angle = \bigwedge_{l=1}^4 (\alpha_l < \pi), \quad (13)$$

где α_l – угол при вершине, определяемый по его тангенсу

$$tg\alpha_l = \frac{\frac{y_m - y_l}{x_m - x_l} - \frac{y_k - y_l}{x_k - x_l}}{1 + \frac{y_m - y_l}{x_m - x_l} \cdot \frac{y_k - y_l}{x_k - x_l}}, \quad (14)$$

$$l, l = \overline{1, 4}; l = (k + 1) \bmod 4; m = (l + 1) \bmod 4.$$

Из практики анализа прямоугольных изображений этикеток установлено: если данный линейный контур представляет собой выпуклый четырехугольник, то в кадре обнаружено изображение.

На основании вычисленных углов определяется нарушение геометрии с помощью логической функции G

$$G = \bigwedge_{l=1}^4 \left(\alpha_l = \frac{\pi}{2} \right). \quad (15)$$

Таким образом, отличительной особенностью разработанной модифицированной математической модели процесса обработки информации является возможность осуществлять обработку сигналов оптического, индуктивного и оптико-электронного датчиков, формировать управляющее воздействие на шаговый двигатель и обеспечить определение нарушения геометрии изображения.

Основываясь на математической модели процесса обработки информации в оптико-электронном вычислительном устройстве, представленной выражениями (1-15), разработан метод распознавания изображения, состоящий из следующих этапов:

1. Ввод изображения.
2. Фильтрация изображения.
3. Нейросетевая обработка изображения с целью выделения контура изображения.
4. Построение множества линейных контуров.
5. Вычисление координат вершин четырехугольников и проверка их выпуклости.
6. Расчет коэффициентов искажения по четырем сторонам этикетки и коррекция.
7. Определение нарушения нанесения изображения на объект.

Рассмотрим подробнее этапы метода обработки изображения.

Фильтрация изображения заключается в устранении влияния шумов на границы областей.

Третий этап метода обработки изображения – выделение контуров этикетки на полученном изображении. Наиболее перспективным подходом для решения данной задачи является нейросетевая обработка изображения с использованием PCA (principal component analyze) нейросети.

PCA – это гибридная сеть с синапсом, являющимся принципиальным, главным компонентом анализа. Сеть строится следующим образом. На первом шаге необходимо сформировать элементы для ввода данных. К данным элементам относится аксон, предназначенный для координации каналов ввода, и главный компонент анализа входных данных, который линейно проектирует пиксели из входного изображения в пространство меньше измерением, при этом сохраняя максимум энергии исходного сигнала. Данная нейронная сеть строится как

гибридная, основанная на идее использования самообучающихся слоев (РСА) как экстракторов характеристик и использовании управляемых слоев как классификаторов.

Выделение контуров геометрических объектов при помощи гибридной сети осуществляется следующим образом. На первом этапе выполняется обучение нейронной сети, на втором – непосредственно выделение контуров.

Для обучения нейронной сети используются данные, которые представляют собой геометрические фигуры. Сеть программируется для выделения контуров ограниченного набора фигур.

Далее осуществляется построение множества линейных контуров на изображении, вычисление координат вершин четырехугольников и проверка их выпуклости.

Линейный контур c_i будет являться выпуклым четырехугольником, если выполняются следующие условия:

1) замкнутый линейный контур можно разбить на 4 отрезка, являющиеся сторонами четырехугольника (необходимое условие означает, что замкнутый линейный контур является четырехугольником);

2) величина любого из внутренних углов, образованных сторонами четырехугольника, меньше 180° (достаточное условие означает, что четырехугольник является выпуклым).

При выполнении данного условия координаты вершин четырехугольника из множества Q считаются координатами углов этикетки, которые являются входными данными для этапа определения параметров искажения этикетки в плоскости изображения (расчет коэффициентов искажения по четырем сторонам этикетки и ее коррекция осуществляются на основе известных методов).

На следующем этапе метода обработки изображения выполняется проверка соотношения сторон и углов этикетки и делается вывод о возможном нарушении нанесения этикетки на объект.

Новизна метода заключается в совокупности шагов по использованию нейросетевого подхода и контурного анализа с целью определения геометрии этикетки.

Таким образом, разработанный метод обработки изображения осуществляет анализ изображения этикетки, отличается использованием нейросетевого подхода к обработке и позволяет обнаружить нарушение местоположения этикетки.

В третьей главе на основе математической модели процесса обработки информации в оптико-электронном вычислительном устройстве и метода обработки изображений разработан алгоритм обработки изображений, проведено моделирование данных алгоритмов, обоснован выбор нейросетевой структуры для выделения контура изображения.

В алгоритме фильтрации изображения обрабатывается область размером $n_1 \times n_2$; $size$ – максимальный размер области. Начальный размер обрабатываемой области 3×3 .

Вычисление $Y_o(i, j)$ выполняется параллельно для нескольких участков, что позволяет сократить общее время вычислений.

Выделение контуров на изображении выполняется на основе нейросети со следующей структурой (рис. 2).

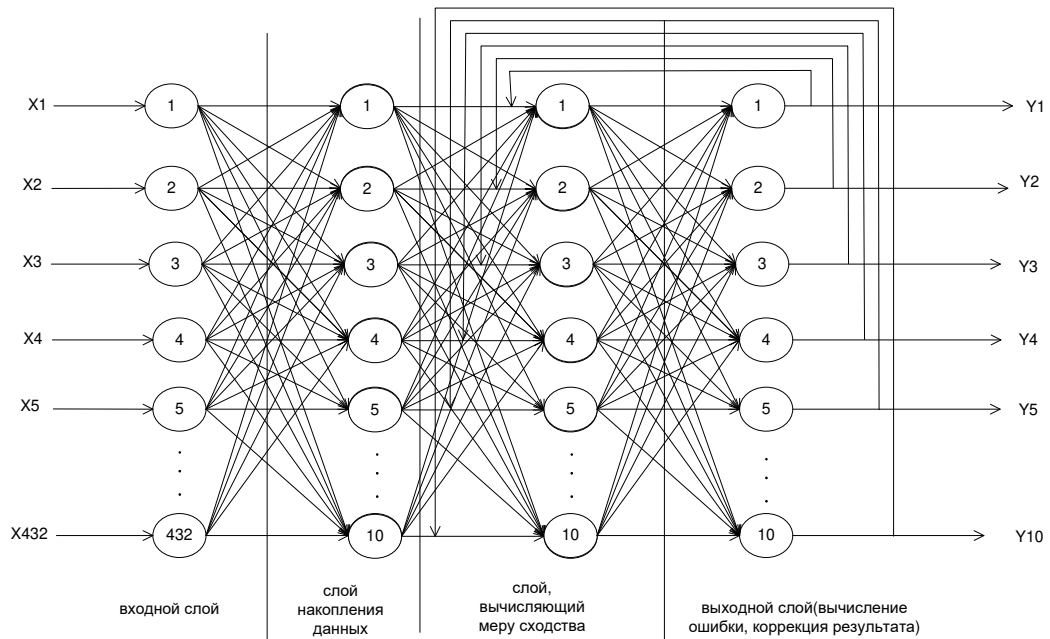


Рисунок 2 – Структура нейросети

Нейросеть состоит из четырёх слоёв: входного слоя, выходного слоя и двух скрытых слоёв. На входной слой подаётся 432 элемента (изображение 24x18). В слое накопления данных 10 нейронов в соответствии с количеством контуров для выделения. Далее в следующем слое вычисляется мера сходства между примерами, вычисляется ошибка и корректируется результат при помощи обратных связей.

Разработанный алгоритм фильтрации изображения и структура нейросети обеспечили выполнение этапов 1 и 2 метода обработки изображения. Использование нейросетевого подхода позволило выделять контуры геометрических фигур, представленных «размытым», нечётким изображением, и обеспечило лучшее качество выделения по сравнению со стандартными операторами выделения границ.

На основе математической модели процесса обработки информации в оптико-электронном вычислительном устройстве и метода обработки изображений разработан алгоритм работы оптико-электронного вычислительного устройства, входящего в систему управления нанесением изображений на объекты, представленный на рисунке 3.

При моделировании и практической реализации разработанного метода и алгоритма рассматривалось распознавание изображений этикеток на объектах.

Перед началом работы необходимо записать в память оптико-электронного вычислительного устройства данные о времени прохождения этикетки для определения последующей скорости движения ленты, так как с увеличением диаметра наматываемого рулона (подложки) увеличивается и угловая и линейная скорость. Скорости движения объекта и этикетки на протяжении процесса нанесения изображений на объекты должны быть согласованы, иначе возможно повреждение этикетки. Для этой цели в системе автоматизированного управления используется оптико-электронное вычислительное устройство, одна из функций которого – управление шаговым двигателем.

Таким образом, возникает необходимость разработки и реализации алгоритма расчета и установки частоты вращения шагового двигателя. Алгоритм основан на сравнении текущего времени прохождения этикетки с записанным в памяти временем и постоянной коррекции скорости, что позволяет обеспечивать стабильную и бесперебойную работу системы нанесения изображений на объекты.

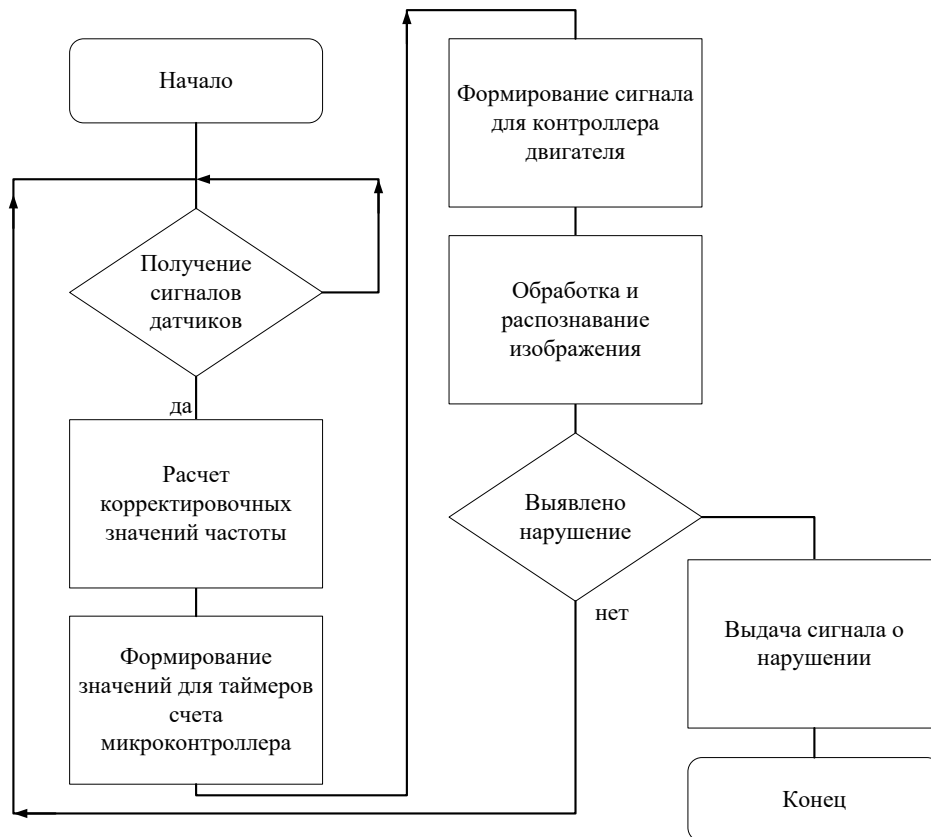


Рисунок 3 –Алгоритм работы опико-электронного вычислительного устройства для системы управления нанесением изображений на объекты

Алгоритм работы микропроцессорного блока в составе опико-электронного вычислительного устройства для формирования управляющего воздействия на шаговый двигатель (рис. 4) представляет собой следующую последовательность действий. При поступлении питания на управляющий контроллер начинается цикл ожидания сигнала внешнего прерывания, который может поступить от датчиков или от кнопок установки режимов. Далее выполняется проверка сигнала от оптического датчика Д1. Если объект в зоне его действия, то производится переход к проверке сигнала от индуктивного датчика Д2, если нет, то проверка продолжается. При проверке Д2, если этикетка в исходном состоянии, включается шаговый двигатель, если нет, возвращается к проверке Д1. После включения двигателя проверяется Д2, если этикетка закончилась, то осуществляется переход к проверке начала следующей этикетки, если нет, проверка продолжается. Далее проверяется Д2 и, если обнаружено начало следующей этикетки, двигатель останавливается и выполняется переход в начало алгоритма и проверка Д1, если нет, проверка Д2 продолжается.

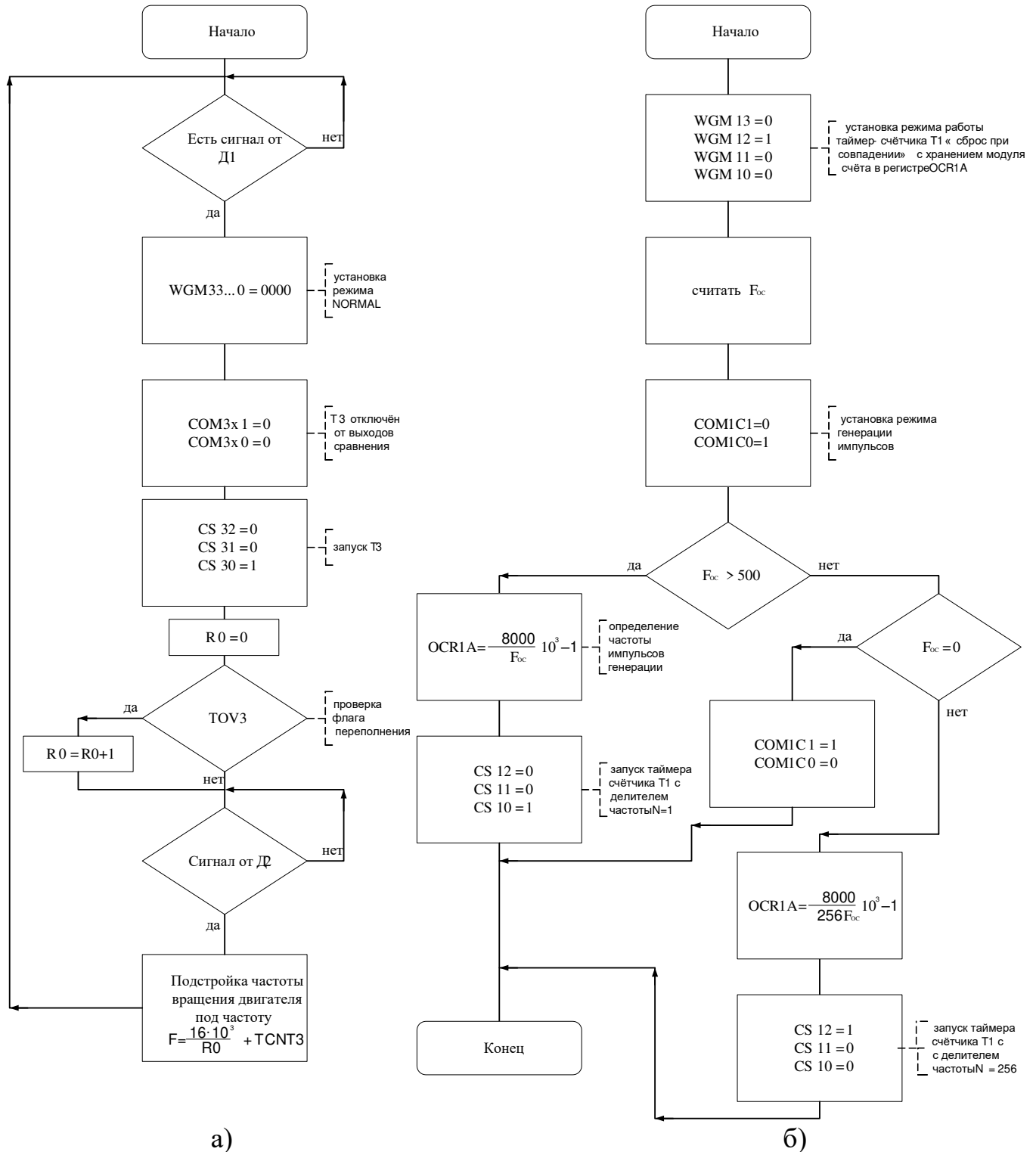


Рисунок 4– Алгоритм работы микропроцессорного блока в составе оптоэлектронного вычислительного устройства для формирования управляющего воздействия на шаговый двигатель
(а - алгоритм подстройки частоты, б - алгоритм установки режима генерации импульсов)

Также разработан алгоритм работы оптоэлектронного вычислительного устройства в ручном режиме, необходимый для обеспечения тестирования устройства и функционирования при условии постоянной скорости подачи этикетки.

Таким образом, разработан алгоритм работы микропроцессорного блока в составе оптико-электронного вычислительного устройства для формирования управляющего воздействия на шаговый двигатель.

В четвертой главе предложена структурно-функциональная организация оптико-электронного вычислительного устройства для системы управления нанесением изображений на объекты, обеспечивающая обработку изображения этикетки в режиме реального времени. Также в главе представлены алгоритмы работы оптико-электронного вычислительного устройства для системы управления нанесением изображений на объекты.

Структурно-функциональная организация оптико-электронного вычислительного устройства для системы управления нанесением изображений на объекты представлена на рисунке 5.

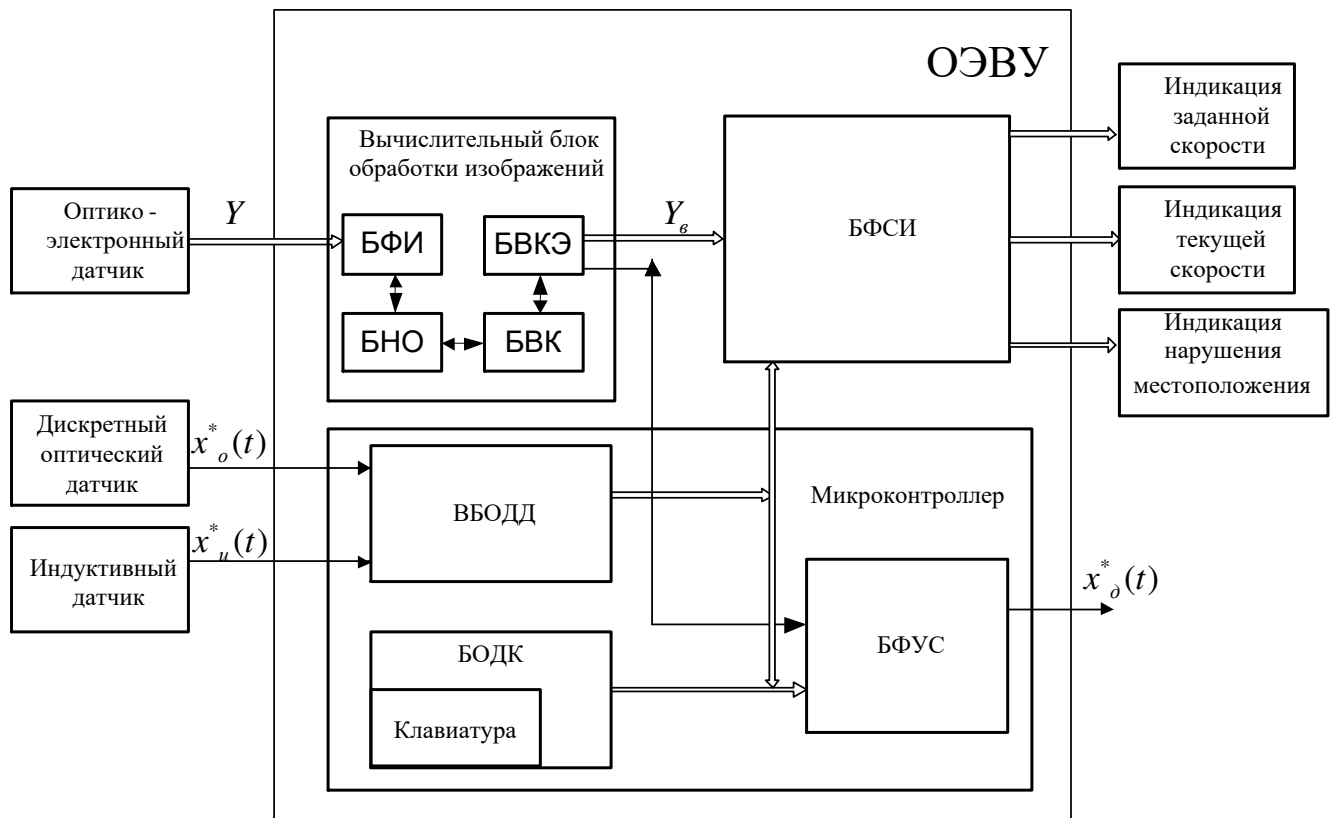


Рисунок 5 – Структурно-функциональная организация оптико-электронного вычислительного устройства для системы управления нанесением изображений на объекты

Вычислительный блок обработки изображения содержит блок фильтрации изображения (БФИ), блок нейросетевой обработки (БНО), блок вычисления контуров (БВК) и блок вычисления координат этикетки (БВКЭ) и предназначен для реализации метода обработки изображений, построен на базе элементов памяти, матричных сумматоров, вычитателей, умножителей, схем управления. Данный блок реализован на базе стандартных программных компонент (soft-ядер) фирмы Xilinx.

Вычислительный блок обработки данных от датчиков (ВБОДД), блок формирования управляющего сигнала (БФУС) обеспечивают расчет параметров и формирование управляющего сигнала. Блок обработки данных с клавиатуры (БОДК) и блок формирования сигналов индикации (БФСИ) предназначены для

ввода установочных данных и обеспечения индикации скорости вращения шагового двигателя.

В блоке фильтрации изображений выполняются операции сравнения и мультиплексирования (рис. 6). Аппаратная реализация алгоритма фильтрации предназначена в первую очередь для повышения быстродействия выполнения этой операции в устройстве.

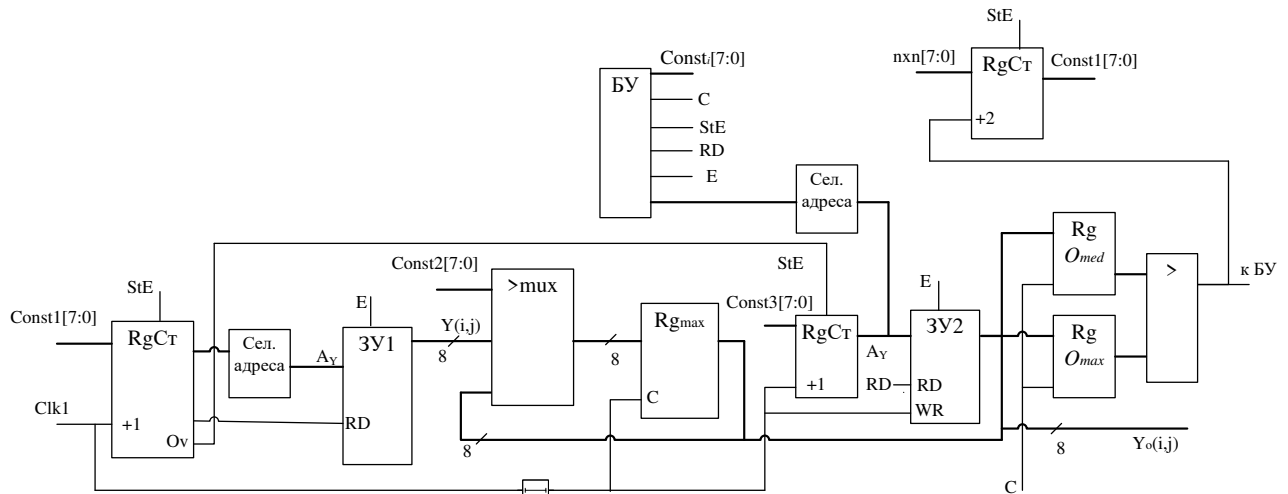


Рисунок 6– Схема блока фильтрации изображения

БФИ обладает однородной структурой и реализуется на ПЛИС, позволяет производить вычисление для одного пикселя в течение 100нс. Таким образом, преобразование одной строки изображения выполняется за время, не превышающее 75мкс, а весь кадр изображения матрицы (352*352 точек) будет обработан за время 25-27 мс, что позволяет обеспечивать контроль нанесения изображений на объекты в режиме реального времени.

Результаты сравнения ОЭВУ с аналогами и экспериментальных исследований оптико-электронного вычислительного устройства для системы управления нанесением изображений на объекты представлены в таблице 1.

Таблица 1 –Сравнение разработанного ОЭВУ с аналогами

Реализуемые функции	Устройство-аналог 1 (АЭ-5.2)	Устройство-аналог 2 (Collomat-6600)	Разработанное ОЭВУ
Возможность подключения индуктивного и оптического датчиков	+	+	+
Обработка данных оптико-электронного датчика	–	–	+
Изменение настроечных параметров процесса нанесения изображений на объекты в ходе работы	–	–	+
Формирование управляющих воздействий для шагового двигателя	–	+	+
Определение положения этикетки	–	–	+

Разработанное оптико-электронное вычислительное устройство позволяет дополнительно обеспечить следующие функции: обработка данных оптико-электронного датчика, изменение настроечных параметров процесса нанесения

изображений на объекты в ходе работы, определение нарушения геометрии этикетки. Экспериментальные исследования разработанного метода и алгоритма обработки изображения показали обнаружение нарушения геометрии этикетки в 90% случаев.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе в рамках решения поставленной научно-технической задачи получены следующие основные результаты:

1. Выполнен анализ состояния вопроса создания оптико-электронных вычислительных устройств для нанесения изображений на объекты и существующей элементной базы. Сделан вывод о перспективности совершенствования устройств для нанесения изображений на объекты путем расширения реализуемых устройством функций и создания функциональных расширителей и использования оптико-электронных вычислительных устройств.
2. Сформирована модифицированная математическая модель процесса обработки информации в оптико-электронном вычислительном устройстве для системы управления нанесением изображений на объекты, отличающаяся совместной обработкой сигналов оптического, индуктивного и оптико-электронного датчиков, позволяющая формировать управляющее воздействие на шаговый двигатель и обеспечить контроль местоположения этикетки.
3. Разработан метод обработки изображения оптико-электронным вычислительным устройством, основанный на анализе изображения этикетки, отличающийся использованием нейросетевого подхода к обработке, позволяющий обнаружить нарушение геометрии этикетки посредством аппаратно-ориентированных операций.
4. Разработана структурно-функциональная организация оптико-электронного вычислительного устройства для нанесения изображений на объекты, обеспечивающая обработку изображения этикетки в режиме реального времени за счет аппаратной реализации алгоритмов обработки изображения, отличающаяся введением блока нейросетевой обработки и микроконтроллера для расчета и формирования управляющих воздействий.
5. Разработанное оптико-электронное вычислительное устройство позволяет обрабатывать изображения в реальном масштабе времени и обеспечивать контроль местоположения этикетки в 90% случаев.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, входящих в перечень ВАК РФ

1. Волков Д.А. Метод коррекции дисторсии в задачах обработки изображений этикеток / Д.А. Волков, М.И. Труфанов, В.С. Панищев // «Известия Юго-Западного государственного университета». 2019. №3. - С.30-38.
2. Волков Д.А. Алгоритм функционирования микроконтроллера для управления шаговым двигателем в системе этикетирования / Д.А. Волков, И.Е. Чернецкая // Естественные и технические науки. 2019. №4. - С.223-227.
3. Волков Д.А. Модель оценки надежности многоуровневой автоматизированной системы диспетчерского управления транспортом газа / Д.А. Волков // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2016. №12 - С.20-23.

Материалы конференций

4. Волков Д.А. Устройство управления автоматом нанесения самоклеющейся этикетки на подвижный объект / Д.А. Волков, Е.С. Чернецкая, О.Б. Славкова // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание-2015: сб. матер. XII Междунар. науч.-техн. конф.; Юго-Западный гос.ун-т. Курск, 2015.– С.385-387.
5. Волков Д.А. Development of SIRIUS innovation system for integrating participants of industrial engineering / Д.А. Волков // Нефть и газ – 2015: сб. тезисов 69-й Междунар. Молодежной научной конф.; М. 2015.–С.308.
6. Волков Д.А. Устройство ввода и обработки изображений на базе микроконтроллера / Д.А. Волков, В.С. Панищев, П.М. Порядин // Информационно-измерительные диагностирующие и управляющие системы. Диагностика – 2016: сб. материалов IV регион. науч.-техн. конф.; Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2016. – 108 с.
7. Волков Д.А. The model of programing solution for estimating reliability of gas transport automated dispatch control system / Д.А. Волков // Нефть и газ – 2016: сб. тезисов 70-й Международной молодежной научной конференции. М. 2016.–С.252.

Соискатель

Волков Д.А.

ИД №06430 от 10.12.01

Подписано к печати _____ . Формат 60x84 1/16.

Печатных листов 1,0 . Тираж 100 экз. Заказ _____ .

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.