

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» В Г.ТАГАНРОГЕ
РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
ПИ (ФИЛИАЛ) ДГТУ В Г. ТАГАНРОГЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ В АВИАСТРОЕНИИ И МАШИНОСТРОЕНИИ («ISAM'2025»)

IX ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

1234567890D48E1563QW

11 АПРЕЛЯ
ТАГАНРОГ 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ» В Г.ТАГАНРОГЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
ПИ (филиал) ДГТУ в г. Таганроге

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ В
АВИАСТРОЕНИИ И МАШИНОСТРОЕНИИ
(«ISAM' 2025»)**

**IX Всероссийская научно-практическая конференция
с международным участием**

Таганрог 2025

11 апреля

УДК 004:621:623.746.-519:681.5:8

ББК

Редакционная коллегия

кандидат технических наук, научный сотрудник Светличная Л.А. (отв.ред.)

доктор экономических наук, научный сотрудник Чернова Т.В.

(Политехнический институт (филиал) ДГТУ в г. Таганроге)

Исследование и проектирование интеллектуальных систем в авиастроении и машиностроении: материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием / ред. кол.: Светличная Л.А., Чернова Т.В.; Таганрог: ДиректСайнс (ИП Шкуркин Дмитрий Владимирович), 2025. – 67 с.

ISBN 978-5-6054415-0-2

Сборник включает материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием, отражающие результаты перспективных научных исследований в базовых отраслях машиностроения, металлообработки, материаловедения, а также исследований в области проектирования и создания современных информационных систем. Материалы конференции рассматривают актуальные проблемы развития современных тенденций в области интеграции беспилотных летательных аппаратов в авиационное и сельскохозяйственное пространство.

Предназначен для научных работников, обучающихся по направлениям подготовки бакалавриата и магистратуры, а также специалистов в области информационного и конструкторско-технологического обеспечения производства в базовых отраслях машиностроения.

Адрес организационного комитета: г. Таганрог, ул. Петровская, 109А

Электронный адрес: tag.nir@donstu.ru

ISBN 978-5-6054415-0-2

СОДЕРЖАНИЕ

	Секция «Перспективные разработки и интеллектуальные системы в машиностроении»	
1	Арсентьев С.С., Толмачёва В.Г., Толмачёва Л.В. Анализ применения автоматизированных комплексов в машиностроении	4
2	Чуйков С.С. Разработка и внедрение интеллектуальных технологий в машиностроительное производство	8
3	Арсентьев С.С., Кравченко С.Н., Палий А.В. Адаптивные нейронные сети в системах автоматического управления машиностроительным оборудованием	13
4	Князьков А.В. Разработка магнитострикционного датчика линейных перемещений для промышленных информационно-измерительных систем	17
5	Толмачёва Л.В., Толмачёва В.Г., Чернышев Д.А. Применение искусственного интеллекта для анализа пожарных рисков на машиностроительных предприятиях	23
6	Олейник М.П. Разработка и исследование модуля управления устройством для производства пластикового филамента	28
	Секция «Искусственный интеллект в информационных системах»	
7	Ирзаев Г.Х. Модель мультиагентной системы для автоматизированного внедрения инженерных изменений в промышленные изделия	35
8	Рукавицына В.С., Сингх С. Обзор методов разработки интеллектуального web-ресурса для обработки заказов в баре «bubble tea»	39
9	Ковалева А. А. Интеллектуальная система поддержки принятия решений для динамического ценообразования	44
10	Олейник М.П. Роль больших данных в управлении техническими объектами	47
	Секция «Интеграция БЛА в авиационное и сельскохозяйственное пространство»	
11	Зотов А.А., Булгаков А.Г. Обзор применений БЛА для идентификации нор мышевидных грызунов на сельскохозяйственных угодьях с использованием искусственного интеллекта	52
12	Соловьев В.В., Бондаренко Н.Ю., Филатов Р.К. Концепция построения автоматной модели управления сельскохозяйственным дроном	56
13	Соловьев В.В., Ганциевский А.В., Филатов Р.К. Реализация автоматной модели управления сельскохозяйственным дроном	60
14	Гармаш Д.А. Помехоустойчивые протоколы связи В системах БПЛА	64

Секция – Перспективные разработки и интеллектуальные системы в машиностроении

**Арсентьев С.С., Толмачёва В.Г., Толмачёва Л.В.
ПИ (филиал) ДГТУ,
г. Таганрог, Россия**

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Аннотация. В данной работе анализируется возможность применения автоматизированных комплексов, с точки зрения перспектив улучшения производственных показателей. Результаты показали, что внедрение таких систем позволило снизить уровень брака с 8,5% до 2,1%, что соответствует уменьшению на 73%. Производительность труда возрастает в 3 раза. Точности обработки $\pm 0,02$ мм, что в 4 раза лучше показателей ручного производства. Исследование аддитивных технологий показало достоинства, включая экономию материала в 47% и повышенную точность изготовления ($\pm 0,01$ мм). Общий уровень автоматизации процессов достигает 66%.

Ключевые слова: автоматизированные системы, аддитивные технологии, числовое программное управление (ЧПУ) станки.

**Arsentyev S.S., Tolmacheva V.G., Tolmacheva L.V.
PI (branch) of DSTU,
Taganrog, Russia**

ANALYSIS OF THE USE OF AUTOMATED SYSTEMS IN MECHANICAL ENGINEERING

Abstract. This paper analyzes the possibility of using automated complexes from the point of view of prospects for improving production indicators. The results show that the introduction of the systems reduces the rejection rate from 8.5% to 2.1%, which corresponds to a decrease of 73%. Labor productivity increases by 3 times. The processing accuracy is ± 0.02 mm, which is 4 times better than manual production. The study of additive technologies has shown advantages, including material savings of 47% and increased manufacturing accuracy (± 0.01 mm). The overall level of process automation reaches 66%.

Keywords: automated systems, additive technologies, numerical control (CNC) machines.

Повышение производительности, снижение себестоимости продукции и минимизация влияния человека на оборудование происходит благодаря применению автоматизированных систем. В условиях санкционного давления, развитие отечественных автоматизированных комплексов имеет огромный потенциал. Внедрение роботизированных систем, станков с числовым программным управлением (ЧПУ) и цифровых решений в машиностроении позволяет снизить зависимость от иностранных технологий и обеспечить конкурентоспособность российских предприятий. За счет точного управления оборудованием, минимизации брака и снижения энергозатрат автоматизация в машиностроении становится ключевым инструментом в реализации принципов устойчивого производства. Автоматизация машиностроительных предприятий – это необходимость, так как ручной труд не может обеспечить требуемые скорости, точности и повторяемости процессов, а также качества обработки [1]. Так, точность автоматизированной обработки может составлять порядка 0,02 мм, а ручной – 0,08 мм. Внедрение автоматизированных систем контроля качества на основе машинного мышления и роботов позволяет предприятиям быть конкурентоспособными на мировом рынке [2, 3].

Целями данной работы являются:

- исследование и анализ автоматизации на снижение производственного брака;
- разработка методов контроля качества в производстве;
- изучение возможностей аддитивных технологий в автоматизированном производстве деталей.

Исследование статистики снижения брака после внедрения автоматизированных систем, сравнение показателей качества при ручном и автоматизированном производстве, сравнение традиционных и аддитивных методов производства по критериям точности и себестоимости является задачами исследуемой работы.

Коэффициент снижения брака определяется по формуле:

$$\eta_b = \frac{B_0 - B_1}{B_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где B_0 – средний уровень брака при ручном производстве, 8,3%;

B_1 – уровень брака после автоматизации, 2,2%.

Получаем, что, используя внедренные системы, уровень брака снижается примерно на 73%.

Далее требуется найти рост производительности, по следующей формуле:

$$k_p = \frac{T_r}{T_a}, \quad (2)$$

где T_r – время ручной обработки, 24 час;

T_a – время автоматической обработки, 8 час.

Исходя из результатов расчетов можно сделать вывод, о том, что, пользуясь автоматической обработкой, время работы сократится в 3 раза.

Применение аддитивных технологий в машиностроении позволяют создавать детали и конструкции из металла, полимеров и других материалов, используя 3D-моделирование и печать. Одной из главных преимуществ аддитивных технологий является возможность быстрой и точной настройки производства. Это позволяет ускорить процесс разработки новых продуктов, сократить затраты на их выпуск и повысить качество готовой продукции. В данном случае рассчитывается экономия материала в сравнении с традиционной обработкой: [4, 5].

$$\eta_m = \left(1 - \frac{v_a}{v_t}\right) \cdot 100\%, \quad (3)$$

где v_a – аддитивное устройство, 730 см³;

v_t – традиционная обработка, 1400 см³;

Исходя из решенного уравнения можно сделать вывод, что аддитивные технологии экономят 47% материала.

Далее найдем коэффициент автоматизации производства. Коэффициентом автоматизации производства является отношение машинного времени к общему времени выполнения операции процесса. Формула выглядит следующим образом:

$$k_{aut} = \frac{O_t}{O_{aut}} \cdot 100 \quad (4)$$

Подставляя значения для $O_t = 55$, а $O_{aut} = 33$, общий уровень автоматизации процессов достигает 66%.

Результаты расчетов для оценки потенциального применения автоматизированных систем приведены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1 – Сравнение ручного и автоматизированного производства

Параметр	Ручное произв.	Автомат. произв.	Улучшение
Уровень брака (%)	8,3	2,2	Снижение на 73%
Точность обработки (мм)	±0,08	±0,02	Улучшение в 4 раза
Время обработки (часы)	24	8	Сокращение в 3 раза
Коэффициент автоматизации	-	66%	-

Таблица 2 – Преимущества аддитивных технологий

Критерий	Традиционные методы	Аддитивные технологии	Эффект
Расход материала	1400 см ³	730 см ³	Экономия 47%
Гибкость производства	Низкая	Высокая	Быстрая переналадка
Точность	±0,05 мм	±0,01 мм	Повышение точности

Таблица 3 – Результаты внедрения

Технология	Внедренные системы	Эффект	Пример предприятия
ЧПУ станки	Обработка деталей	Точность ±0,02 мм	Автомобилестроение
Роботы-сварщики	Автоматическая сварка	Снижение брака на 70%	Судостроение
Машинное мышление	Контроль качества	Скорость проверки: 0,5 сек/деталь	Авиастроение

Исследование подтвердило высокую эффективность автоматизации процессов машиностроения. Использование аддитивных технологий обеспечивает экономию материалов на 47% при точности обработки ±0,01 мм. Уровень автоматизации 66%, доказывает высокую потенциальность автоматических систем. Для дальнейшего прогресса необходимо развивать данную систему, а также расширять применение роботов и цифровых платформ управления, автоматизированных комплексов.

Библиографический список

1. Wang, L., Gao, R. Condition Monitoring and Control for Intelligent Manufacturing / L. Wang, R. Gao // Springer. – 2006. — P. 420.
2. Groover, M. P. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing / M. P. Groover. // 5th ed. — Pearson. – 2016. – P. 912.
3. Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing / I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker // 2nd– ed. Springer. – 2015. – P. 498.
4. Koren, Y. The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems / Y. Koren // Wiley. – 2010. – P. 532.
5. Nee, A. Y. C. (Ed.). Handbook of Manufacturing Engineering and Technology / A. Y. C. Nee. // Springer. – 2015. – P. 2500.

*Чуйков С.С.
Тюменский индустриальный университет,
г. Тюмень, Россия*

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Аннотация. В статье рассматриваются современные тенденции разработки и внедрения интеллектуальных технологий в машиностроительное производство. Приведён анализ применения систем автоматизированного управления, алгоритмов машинного обучения и нейронных сетей для повышения эффективности производственных процессов. Особое внимание уделено вопросам цифровизации производственной среды, адаптивного управления оборудованием и повышения уровня надежности технологических операций. Представлены примеры успешной интеграции интеллектуальных систем на отечественных предприятиях машиностроительной отрасли, а также перспективы дальнейшего развития интеллектуальных решений.

Ключевые слова: интеллектуальные технологии, машиностроение, автоматизация, цифровизация, машинное обучение, нейронные сети, адаптивное управление, производственная эффективность

*Chuikov S.S.
Tyumen Industrial University,
Tyumen, Russia*

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF INTELLIGENT TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING PRODUCTION

Abstract. The article discusses modern trends in the development and implementation of intelligent technologies in mechanical engineering production. It analyzes the application of automated control systems, machine learning algorithms, and neural networks to improve the efficiency of production processes. Special attention is paid to the digitalization of the production environment, adaptive equipment control, and increased reliability of technological operations. Examples of successful integration of intelligent systems in Russian mechanical engineering enterprises are presented, along with prospects for further development of intelligent solutions.

Keywords: intelligent technologies, mechanical engineering, automation, digitalization, machine learning, neural networks, adaptive control, production efficiency

Введение

Развитие машиностроения в условиях стремительной цифровизации и роста требований к производительности невозможно без внедрения интеллектуальных технологий. На современном этапе особую значимость приобретают системы автоматизированного управления, алгоритмы машинного обучения, нейронные сети и другие элементы искусственного интеллекта [1]. Эти технологии позволяют не только оптимизировать производственные процессы, но и существенно повысить точность, надёжность и гибкость работы оборудования.

В России вопросы цифровизации и интеллектуализации машиностроительного производства активно поддерживаются на государственном уровне. В рамках федеральных программ стимулируется развитие сквозных цифровых технологий, в том числе решений на базе искусственного интеллекта, что обеспечивает конкурентоспособность отечественных предприятий на внутреннем и международном рынках [2].

1. Перспективные направления внедрения интеллектуальных технологий в машиностроении

Одним из ключевых направлений является внедрение систем интеллектуального управления производственными процессами (СИУПП). Такие решения позволяют в реальном времени контролировать параметры технологических операций, оптимизировать режимы работы оборудования и предупреждать возможные неисправности [3].

Особое внимание уделяется разработке цифровых двойников оборудования и производственных линий, которые моделируют поведение объектов в виртуальной среде [4,5,6]. Это даёт возможность прогнозировать износ узлов, проводить виртуальные испытания новых моделей изделий и сокращать сроки вывода продукции на рынок [2].

Важным элементом становится адаптивное управление станками с ЧПУ, где на основе анализа данных от датчиков система самостоятельно корректирует траекторию инструмента, снижая брак и повышая точность обработки [7].

2. Примеры отечественных решений и успешной интеграции

2.1. Проект ГК «СТАН» (Москва)

Группа компаний «СТАН» внедрила на своих производствах систему интеллектуального мониторинга работы станков на базе нейросетевых алгоритмов. Система собирает данные с датчиков вибрации, температуры и нагрузки, обрабатывает их в реальном времени и выявляет аномалии, позволяя предотвращать поломки оборудования. По данным компании, за первый год эксплуатации количество внеплановых простоев сократилось на **18%**, а производственная эффективность повысилась на **12%** [8].

2.2. Цифровая платформа «КРАСМАШ» (Красноярск)

АО «Красмаш», производящее сложное машиностроительное оборудование, разработало и внедрило собственную интеллектуальную

систему планирования и диспетчеризации производственных процессов. Платформа обеспечивает интеграцию с ERP-системами, оптимизирует загрузку оборудования и персонала, а также анализирует эффективность выполнения заказов. В результате перехода к новой системе среднее время производственного цикла сократилось на 15% [9].

2.3. НПО «Сатурн» (Рыбинск)

На Рыбинском заводе «Сатурн» внедрены технологии машинного обучения для оптимизации процесса обработки деталей авиационных двигателей. Аналитические модули на основе исторических данных корректируют режимы фрезерования и токарной обработки в зависимости от характеристик заготовки. В результате среднее время обработки детали сократилось на 7%, а выход годной продукции увеличился на 10% [10].

3. Эффективность применения интеллектуальных технологий (аналитическая оценка)

В таблице приведены обобщённые результаты внедрения интеллектуальных систем на отечественных машиностроительных предприятиях.

Предприятие	Технология	Результат внедрения
ГК «СТАН»	Нейросетевой мониторинг станков	-18% простоев, +12% производительности
АО «Красмаш»	Интеллектуальная диспетчеризация	-15% времени производственного цикла
НПО «Сатурн»	Машинное обучение в обработке	+10% выхода годной продукции, -7% времени обработки

Данные подтверждают положительное влияние внедрения интеллектуальных решений на производственную эффективность [7–10].

4. Перспективы дальнейшего развития

В ближайшие годы можно ожидать активного роста внедрения интеллектуальных роботизированных комплексов, а также решений на базе индустрии 4.0 [11], включая интернет вещей (IoT) и облачные вычисления [2,4]. В России ведутся разработки таких систем на базе НИОКР, финансируемых как предприятиями, так и государственными структурами, включая Фонд содействия инновациям и Сколково.

Большие перспективы имеет интеграция блокчейн-технологий для обеспечения прозрачности производственных процессов и отслеживания жизненного цикла изделий [3].

Заключение

Интеллектуальные технологии становятся неотъемлемой частью развития машиностроения в России. Реализация проектов по цифровизации и внедрению систем на основе искусственного интеллекта позволяет

отечественным предприятиям существенно повысить эффективность производства, минимизировать затраты и сократить сроки выпуска конкурентоспособной продукции [1,2].

Примеры успешных внедрений демонстрируют высокую готовность машиностроительных предприятий к дальнейшей трансформации, направленной на укрепление позиций отрасли в мировой экономике.

Библиографический список

1. Иванов А.А., Петров В.В. Цифровизация машиностроения: вызовы и возможности // Машиностроение и технологии. – 2023. – № 4. – С. 10-16.

2. Кузнецов С.Н., Миронов П.И. Интеллектуальные системы управления в машиностроении // Вестник машиностроения. – 2024. – № 2. – С. 25-31.

3. ГОСТ Р 7.0.100-2018. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления. – М.: Стандартинформ, 2019. – 24 с.

4. Чуйков, С. С. Разработка рекомендаций по внедрению виртуальной калибровки в метрологическую практику / С. С. Чуйков, Р. С. Чуйков, Е. С. Косырев // Естественные и технические науки. — 2025. — № 1 (200). — С. 181–183.

5. Чуйков, С. С. Внедрение общей базы средств измерений для отслеживания жизненного цикла средств измерений / С. С. Чуйков, М. В. Минухова, Е. О. Притчина // Естественные и технические науки. — 2025. — № 1 (200). — С. 203–205.

6. Петрова, Ю. Н. Инженерное образование в контексте акмеологического подхода / Ю. Н. Петрова, Р. С. Чуйков, Ю. О. Немцева, С. С. Чуйков // Материалы пула научно-практических конференций : Материалы VI Международной научно-практической конференции, IX Международной научно-практической конференции и VI Международной научно-практической конференции. — Керчь, 2025. — С. 1052–1056.

7. Официальный сайт ГК «СТАН». URL: <https://www.stan-company.ru> (дата обращения: 10.03.2025).

8. ГК «СТАН»: Интеллектуальный мониторинг и повышение эффективности // Официальный сайт ГК «СТАН». URL: <https://www.stan-company.ru> (дата обращения: 10.03.2025).

9. Красмаш: Инновации и технологии диспетчеризации производства // Официальный сайт АО «Красмаш». URL: <https://krasmash.ru> (дата обращения: 10.03.2025).

10. НПО «Сатурн» – Применение машинного обучения в производстве // Официальный сайт НПО «Сатурн». URL: <https://www.npo-saturn.ru> (дата обращения: 10.03.2025).

11. Ощепков, А. М. Развитие менеджмента в Индустрии 4.0: переход к киберфизическим организациям и формирование их систем управления

[Электронный ресурс]: материалы XI Рос. науч.-практ. конф. (с междунар. участием), г. Пермь, ПГНИУ, 29 нояб. 2018 г. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. — Электрон. дан. — Пермь: ПГНИУ, 2018. — 174 с. — 6 Мб. — Режим доступа: локальная сеть или Интернет.

*Арсентьев С.С., Кравченко С.Н., Палий А.В.
Политехнический институт (филиал) ДГТУ,
г. Таганрог, Россия*

АДАПТИВНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Аннотация. Рассмотрены аспекты использования адаптивных нейронных сетей (АНС) для коррекции траекторий обработки, компенсации вибраций и оптимизации энергопотребления в станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Результаты показали перспективность внедрения искусственного интеллекта (ИИ) для машиностроительного производства.

Ключевые слова: адаптивные нейронные сети, искусственный интеллект, ЧПУ, машиностроение

*Arsentyev S.S., Kravchenko S.N., Palii A.V.
Polytechnic Institute (branch) of DSTU,
Taganrog, Russia*

ADAPTIVE NEURAL NETWORKS IN AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS OF MACHINE-BUILDING EQUIPMENT

Abstract. Aspects of using adaptive neural networks (ANS) to correct processing trajectories, compensate for vibrations, and optimize energy consumption in numerically controlled (CNC) machines are considered. The results showed the prospects of introducing artificial intelligence (AI) for machine-building production.

Keywords: adaptive neural networks, artificial intelligence, CNC, mechanical engineering.

Современные системы числового программного управления активно набирают обороты. Адаптивные нейронные сети используются для коррекции траекторий обработки материалов. Благодаря самообучающимся нейронным сетям можно минимизировать погрешности, вызванные износом инструментов, нейронные сети могут компенсировать вибрации и даже отклонения, вызванные при настройке станков, что определяет актуальность для машиностроения.

Целями данной работы является изучение и оценка того, как внедрение нейронных сетей может снизить затраты, повысить работоспособность и эффективность использования оборудования, разработать подход к снижению энергозатрат за счет адаптивного

управления режимами работы оборудования, а также роста производительности предприятия.

Задачами работы являются анализ экономических выгод от внедрения искусственного интеллекта (ИИ) и анализ систем, которые могут адаптироваться к условиям производства без необходимого вмешательства операторов станков.

Адаптивные нейронные сети представляют собой многослойные структуры, способные изменять свои параметры в процессе обучения [1]. Нейронная сеть может быть описана формулой:

$$y = f\left(\sum_{i=1}^n \omega_i x_i + b\right), \quad (1)$$

где y – выходной сигнал сети;
 f – функция активации;
 w_i – весовые коэффициенты;
 x_i – входные данные;
 b – смещение.

Примем значения для $x_1 = 0,5$, $x_2 = 0,3$, $x_3 = 0,8$, $w_1 = 0,7$, $w_2 = -0,2$, $w_3 = 0,5$, $b = 0,1$ для формулы:

$$z = w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3 + b \quad (2)$$

Тогда применяя сигмоиду, описываемую формулой (3) и подставляя рассчитанное значение $z = 0,79$ из формулы (2):

$$y = f(z) = \frac{1}{1 + e^{-0.79}} \quad (3)$$

получаем, что, исходя из результатов вычислений можно сделать вывод, о том, что выходной сигнал сети имеет примерное значение 0,688, что интерпретируется как вероятность корректировки траектории.

Расчет по коррекции траектории обработки представлен в виде формулы:

$$\Delta T = k \cdot error(t), \quad (4)$$

Принимая значения коэффициента адаптации $k = 0,5$, и величину ошибки в шаге 0,2 мм, получим $\Delta T = 0,1$ мм., то есть система скорректирует траекторию на 0,1 мм для того, чтобы скомпенсировать ошибку [2].

Вычисление компенсации вибраций происходит по следующей формуле:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t), \quad (5)$$

где m – масса, 10 кг.;

c – коэффициент демпфирования, 20;

k – жесткость, 1000 Н/м;

$F(t)$ – внешняя сила.

Решение уравнение выглядит следующим образом:

$$10\ddot{x} + 20\dot{x} + 1000x = 50\sin(10t).$$

Для стационарного решения амплитуда вибрации вычислялась по формуле:

$$A = \frac{F_0}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (C\omega)^2}} \quad (6)$$

Подставляя значения для $F_0 = 50$, а $\omega = 10$ рад/с, в результате вычисления получаем, что амплитуда вибрации составит 0,25м, что является недопустимым значением для станков. В данном случае АНС может помочь предсказать и сгенерировать сигнал для компенсации вибраций [3].

Далее требуется получить результирующую силу. Нейронная сеть может предсказать $F(t)$ и сгенерировать сигнал для компенсации вибрации по формуле:

$$\begin{aligned} F_{\text{комп}}(t) &= -F(t) = -50 \sin(10t), \\ F_{\text{рез}} &= F(t) + F_{\text{комп}}(t), \end{aligned} \quad (7)$$

Результирующая сила будет равняться 0 и в таком случае вибрация устраняется.

В качестве примера подберем примерные значения режимов работы для станка с оптимальной мощностью 14 кВт (Дж/с).

В таблице представлены расчеты ошибки для каждого режима оптимизации энергопотребления:

Таблица – Расчеты ошибок

P_i (кВт)	$(P_i - P_{opt})^2$
10	$(10 - 14)^2 = 16$
12	$(12 - 14)^2 = 4$
15	$(15 - 14)^2 = 1$
18	$(18 - 14)^2 = 16$
20	$(20 - 14)^2 = 36$

Суммарная ошибка приняла значение 73. АНС может выбрать режим с $P_i = 15$ кВт, так как минимальная ошибка – 1 [4, 5].

Проведенное исследование показывает, что АНС обладают потенциалом для повышения эффективности ЧПУ в машиностроении. Из выполненных вычислений формируется вывод, что коррекция траекторий обработки помогает снизить износ инструмента и неточность настройки станков. АНС способны предсказывать и подавлять вредные колебания, которые могут нести за собой некие последствия. Проведенное исследование показало, что нейронные сети обеспечивают коррекцию траекторий с точностью до 0,1 мм, полностью устраняют вибрации с амплитудой 0,25 мм, а также оптимизируют энергопотребление и способствуют росту производительности на 15%. Применение технологии в 85% современных станков ЧПУ позволит сократить энергопотребление на 12% в год.

Библиографический список

1. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. Cambridge// MIT Press. – 2016. – P. 800
2. Zhang Z. Backpropagation and Neural Networks: From Foundations to Advanced Techniques // Cham: Springer. – 2020. – P. 320.
3. Astrom K. J., Wittenmark B. Adaptive Control. Mineola // Dover Publications. – 2008. – P. 589.
4. Wang L., Gao R. Condition Monitoring and Control for Intelligent Manufacturing. London // Springer. – 2006. – P. 270.
5. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. New York // Springer. – 2006 – P. 738.

*Князьков А.В.,
Пензенский государственный технологический университет,
г. Пенза, Россия*

РАЗРАБОТКА МАГНИТОСТРИКЦИОННОГО ДАТЧИКА ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Аннотация. В промышленных информационно-измерительных системах (ИИС) широко применяются датчики линейных перемещений для контроля положения рабочих органов оборудования и точного измерения перемещения отдельных узлов относительно друг друга. Расширение функциональных возможностей ИИС требует совершенствования магнитострикционных датчиков линейных перемещений, входящих в состав ИИС на современных промышленных производствах, таких как машиностроение, металлургия, нефтехимическое производство.

Ключевые слова: линейные перемещения, магнитострикционный датчик, промышленное производство, информационно-измерительная система.

*Knyazkov A.V.,
Penza State Technological University,
Penza, Russia*

DEVELOPMENT OF A MAGNETOSTRICTIONAL LINEAR DISPLACEMENT SENSOR FOR INDUSTRIAL INFORMATION AND MEASURING SYSTEMS

Abstract. In industrial information and measuring systems (IMS), linear displacement sensors are widely used to monitor the position of equipment working bodies and accurately measure the displacement of individual units relative to each other. Expanding the functionality of IMS requires improving the magnetostrictive linear displacement sensors included in IMS in modern industrial production, such as mechanical engineering, metallurgy, petrochemical production.

Keywords: linear displacement, magnetostrictive sensor, industrial production, information and measuring system.

Информационно-измерительные системы с применением магнитострикционных датчиков линейных перемещений (МДЛП) используются в различных областях промышленности для контроля перемещений в тяжелых условиях эксплуатации, поскольку в их

конструкции отсутствует механический и электрический контакт между датчиком и подвижным механизмом [1].

Использование ИИС с МДЛП выгодно отличается от других методов измерения линейных перемещений благодаря высокой точности и разрешению, устойчивости к внешним факторам и невосприимчивости к электромагнитным помехам [2].

Исследование МДЛП, представленных на отечественном рынке, показывает, что они применяются в составе ИИС для контроля уровня жидкостей с применением поплавка с постоянным кольцевым магнитом, фиксирующего линейные перемещения. Особенностью которых является эксплуатация в условиях пониженных механических и вибрационных воздействий, что обеспечивает высокую точность измерения.

В то же время, применение МДЛП в составе промышленных ИИС для контроля работы прессов, термопластавтоматов, гидравлических и электрических приводов и другого оборудования, приводит к увеличению погрешности измерения за счет изменения расстояния между позиционным магнитом и датчиком.

На сегодняшний день, вопрос повышения метрологических характеристик МДЛП не является полностью решенным, а его решение требует разработки новой структуры ИИС, обеспечивающей сохранение характеристик МДЛП в условиях сильных механических воздействий.

На рисунке 1 показана схема и основные элементы МДЛП.

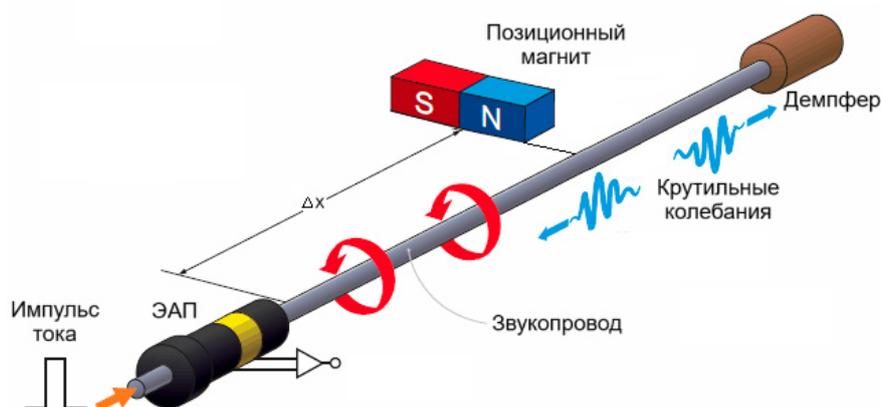


Рисунок 1 – Структурная схема МДЛП в составе ИИС

В состав МДЛП входит звукопровод (волновод), на одном конце которого расположен электроакустический преобразователь (ЭАП), а на противоположном конце находится демпфер. Вдоль звукопровода может перемещаться постоянный позиционный магнит, механически соединенный с подвижной частью какого-либо оборудования, совершающей линейные перемещения.

На звукопровод подается стартовый импульс тока, после чего в месте нахождения постоянного магнита возникают крутильные колебания (эффект Видемана), которые распространяются в обе стороны от

позиционного магнита. Крутильные колебания с одной стороны гасятся демпфером, а с другой – преобразуются в электрический сигнал (эффект Виллари) электроакустическим преобразователем и усиливаются [3].

Сформированный ЭАП электрический сигнал несет в себе информацию о положении магнита, механически связанного с объектом перемещения. Измеряя интервал времени между стартовым импульсом и сигналом, полученным с выхода АЭП, можно определить величину линейного перемещения Δx по формуле [4]:

$$\Delta x = v \cdot \Delta t,$$

где v – скорость распространения крутильной ультразвуковой волны в звукопроводе (приблизительно 2600 м/с).

На рисунке 2 показана осциллограмма сигнала, сформированного ЭАП. Величина амплитуды сигнала на выходе ЭАП непостоянна и зависит от нескольких факторов [5]:

- изменение расстояния между магнитом и волноводом;
- затухание крутильных колебаний в материале звукопровода;
- затухание крутильных колебаний по экспоненциальному закону при распространении вдоль звукопровода;
- изменение температуры окружающей среды;
- старение материала магнита и волновода.

При уменьшении амплитуды сигнала, происходит изменение крутизны фронта импульса на выходе ЭАП, что является причиной возрастания интервала времени Δt и приводит к систематической погрешности $\Delta t'$.

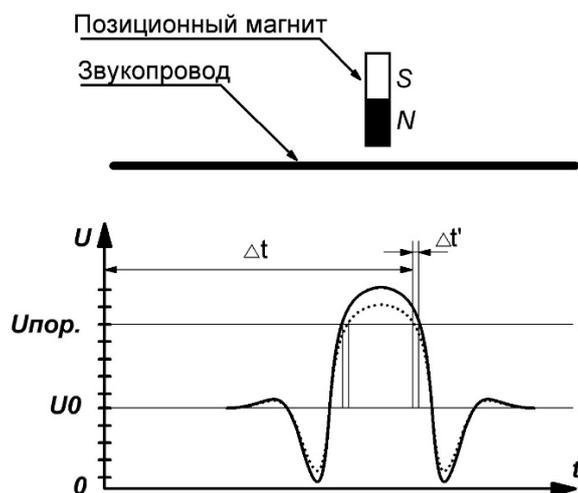


Рисунок 2 – Форма сигнала на выходе ЭАП

В данной работе предлагается разработка усовершенствованного магнитострикционного датчика линейных перемещений для применения в составе ИИС. Отличительной особенностью датчика является функция поддержания амплитуды сигнала ЭАП на постоянном уровне, что снижает систематическую погрешность измерения.

На рисунке 3 представлена функциональная схема ИИС контроля линейных перемещений на основе магнестрикционного датчика с улучшенными характеристиками, которая работает следующим образом.

Сигнал с выхода ЭАП усиливается предварительным усилителем (ПУ) и далее поступает на регулируемый усилитель РУ.

Компаратор К1 служит для обнаружения сигнала от магнита и определяет момент времени, когда сигнал становится больше порогового напряжения $U_{\text{порог}}$.

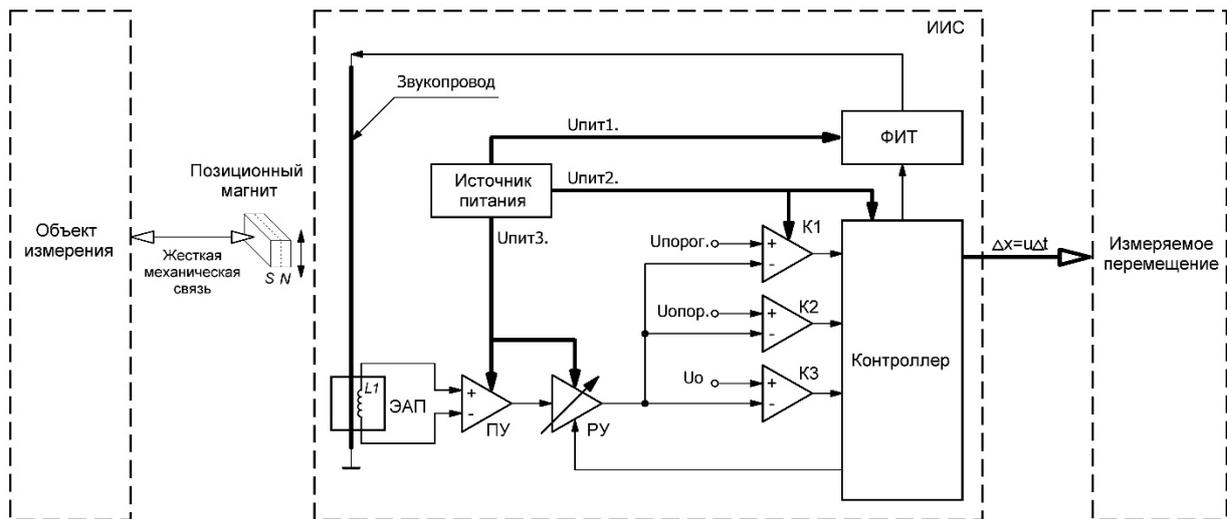


Рисунок 3 – Функциональная схема ИИС контроля линейных перемещений

Пороговое напряжение $U_{\text{порог}}$ меньше опорного напряжения $U_{\text{опор}}$, но больше нулевого напряжения U_0 . Нулевое напряжение U_0 – это напряжение, которое присутствует на выходе РУ, когда нет импульсов тока в звукопроводе или магнит отсутствует.

Компаратор К3 (рисунок 4а) определяет момент времени, когда сигнал становится равным напряжению U_0 впервые после момента превышения напряжения $U_{\text{порог}}$. Этот момент времени является окончанием измерения интервала времени Δt , так как момент пересечения сигналов напряжения U_0 не зависит от уровня самого сигнала, что увеличивает точность измерения.

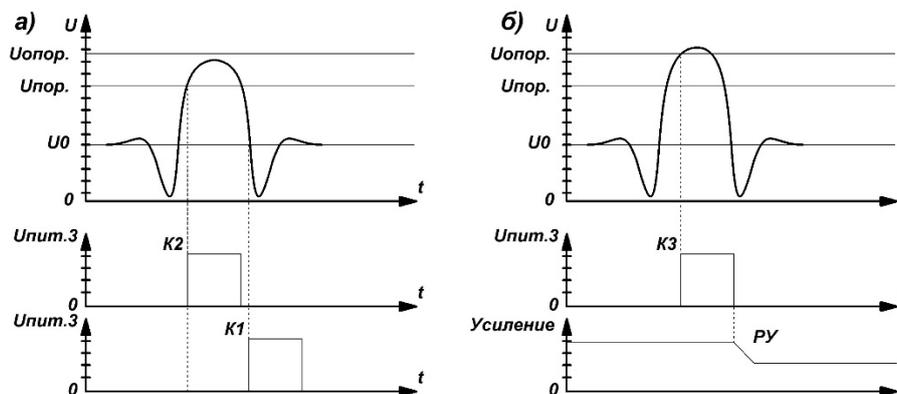


Рисунок 4 – Формы сигнала в различных точках схемы ИИС

Контроллер регулирует амплитуду сигнала при помощи установки коэффициента усиления РУ, в зависимости от сигналов компараторов К1 и К2. Компаратор К2 обнаруживает точку превышения напряжения $U_{\text{порог}}$, а компаратора К1 – превышение напряжения $U_{\text{опор}}$. В случае сигнала, показанного на рисунке 4б, контроллер распознает, что сигнал превышает напряжение $U_{\text{опор}}$, поэтому усиление РУ уменьшается, а значит уменьшается и амплитуда сигнала.

Импульс тока с заданной амплитудой в звукопроводе создается при помощи формирователя импульса тока (ФИТ).

Необходимые питающие и опорные напряжения обеспечивает источник питания с несколькими каналами выходного напряжения.

Был изготовлен экспериментальный образец МДЛП для применения в составе промышленной ИИС, внешний вид которого представлен на рисунке 5.

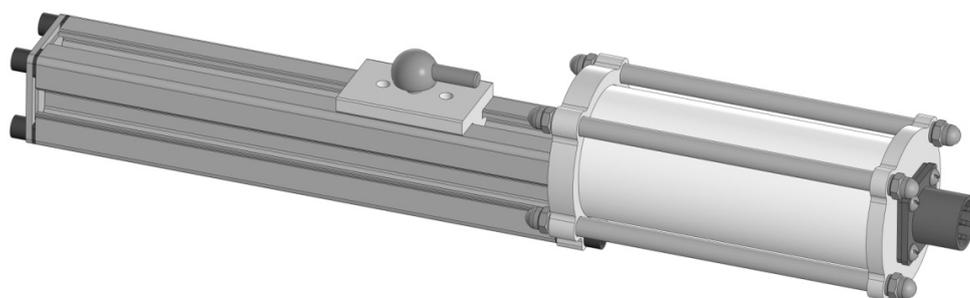


Рисунок 5 – Конструкция МДЛП для применения в составе ИИС

Разработанный магнитострикционный датчик, позволяет оценить значения абсолютных линейных перемещений подвижных элементов в составе ИИС различного промышленного оборудования. Применение в предлагаемой схеме ИИС автоматической регулировки усиления и функции выделения полезного сигнала, позволяет избежать систематической погрешности и обеспечить стабильность получаемых результатов измерения.

Библиографический список

1. Тарасов И. Датчики линейного положения для современных систем автоматизации // Компоненты и Технологии. – 2007. – №. 75. – С. 20-21.
2. Ануфриев В., Афанасьев С. Интеллектуальные датчики в информационно-управляющих системах: развитие, элементная база и ПО // Компоненты и технологии. – 2017. – №. 9. – С. 38.
3. Knyazkov A. V., Slesarev Y. N., Vorontsov A. A. On the Issue of Comparing Magnetic Fields and the Output Signal in Magnetostrictive Converters of Linear and Angular Displacements Using Solenoids in the Form of a Spiral and a Cylindrical Shape // 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). – IEEE, 2024. – P. 316-321.

4. Князьков, А. В. Магнитострикционный датчик линейных перемещений для промышленных применений / А. В. Князьков, В. М. Чайковский, А. А. Федюков // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2023. – Т. 1. – С. 409-412. – EDN QFWDXO.

5. Ясовеев В.Х., Квитанцев А.С. Погрешности ультразвуковых преобразователей параметров движения и методы их уменьшения // В кн.: Материалы XII Научно - технической конференции «Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления «Датчик – 2000». – Симферополь, 2000. – С. 278-279.

Толмачёва Л.В., Толмачёва В.Г., Чернышев Д.А.
Политехнический институт (филиал Донского государственного
технического университета), г. Таганрог

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АНАЛИЗА ПОЖАРНЫХ РИСКОВ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Аннотация. В работе рассматривается анализ пожарных рисков – выявление и оценка опасностей возникновения пожаров на машиностроительном предприятии с использованием искусственного интеллекта, с целью последующей разработки эффективных мер по их предотвращению и минимизации возможных последствий.

Ключевые слова: машиностроительное предприятие, пожарный риск, анализ, искусственный интеллект, безопасность, методы предотвращения.

L.V. Tolmacheva, V.G. Tolmacheva, D.A. Chernyshev
Polytechnic Institute (branch of Don State Technical University),
Taganrog

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO ANALYZE FIRE RISKS IN MACHINE-BUILDING ENTERPRISES

Abstract. The purpose of the work is to analyze fire risks – to identify and assess the dangers of fires in a machine-building enterprise using artificial intelligence, as well as to develop effective measures to prevent them and minimize possible consequences.

Keywords: machine-building enterprise, fire risk, analysis, artificial intelligence, safety, prevention methods.

Машиностроительные предприятия представляют собой сложные производственные комплексы, где сочетаются разнообразные технологические процессы, значительные объемы горючих материалов и разветвленные инженерные коммуникации. Это обуславливает повышенную пожарную опасность и необходимость проведения систематического анализа пожарных рисков для обеспечения безопасности персонала, сохранности материальных ценностей и устойчивого функционирования предприятия. Перспективным направлением в анализе пожарных рисков будет применение искусственного интеллекта. В данной статье рассматривается методология анализа пожарных рисков на машиностроительных предприятиях, методы оценки рисков и стратегии их снижения для последующего применения искусственного интеллекта,

способного анализировать огромные объемы данных и находить оптимальные решения для оценки пожарных рисков.

Основная цель анализа пожарных рисков – выявление и оценка опасностей возникновения пожаров на машиностроительных предприятиях, а также разработка эффективных мер по их предотвращению и минимизации возможных последствий с помощью искусственного интеллекта. Искусственный интеллект способен анализировать данные с датчиков (температуры, задымления, газоанализаторов), видеокамер, и даже аудиоустройств, алгоритмы машинного обучения, включая нейронные сети и глубокое обучение, обучаются на исторических данных, распознавая тепловые всплески, искрение электропроводки или изменение химического состава воздуха. Например, искусственный интеллект способен отличить дым от пара или пыли, что сокращает количество ложных тревог.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи, с которыми способен справиться искусственный интеллект:

- ИИ можно объединить с системой вентиляции и дверными проёмами, автоматически блокируя распространение огня, после получения сигнала с расставленных датчиков.

- Прогностическая аналитика ИИ: прогнозирует риски, анализируя данные о погоде, износе оборудования и человеческом факторе.

- Интеграция с умной инфраструктурой: автоматическое отключение электросетей, активация противопожарных заслонов, управление лифтами.

Масштабируемость решения: возможность разработки как для небольших помещений, так и для территорий в тысячи гектаров.

- Идентификация пожароопасных факторов: определение потенциальных источников возгорания и горючих материалов на территории предприятия [1, 2].

- Оценка вероятности возникновения пожара: анализ статистических данных, экспертных оценок и результатов моделирования для определения вероятности пожара в различных зонах предприятия.

- Оценка возможных последствий пожара: определение масштаба ущерба, который может быть причинен пожаром, включая человеческие жертвы, материальный ущерб, прерывание производственного процесса и экологический ущерб.

- Определение уровня пожарного риска: сопоставление вероятности возникновения пожара и возможных последствий для определения уровня пожарного риска в различных зонах предприятия.

- Разработка мероприятий по снижению пожарных рисков: разработка комплекса мер, направленных на предотвращение пожаров и минимизацию их последствий, с учетом экономических и технических возможностей предприятия [3, 4].

Ориентировочная оценка пожароопасности по цехам машиностроительного предприятия представлена в таблице.

Рассматривая цеха с относительно низкой пожароопасностью можно сказать, что на сборочных цехах вероятность пожара составляет 12-16%. Относительно небольшое количество ЛВЖ/ГЖ, но есть электрооборудование, упаковка. Опасность больше связана с человеческим фактором и нарушениями правил, чем с взрывоопасными технологиями.

Таблица – Ориентировочная оценка пожароопасности по видам цехов

Цеха с высокой пожароопасностью (где вероятность возникновения пожара наиболее высока)	Малярные цеха (окрасочные). Складские помещения для хранения ЛВЖ и ГЖ. Сварочные цеха. Термические цеха.
Цеха со средней пожароопасностью	Цеха металлообработки (с использованием СОЖ). Участки резки металла (газовой, плазменной). Деревообрабатывающие цеха (при наличии). Участки шлифовки и полировки.
Цеха с относительно низкой пожароопасностью	Сборочные цеха. Инструментальные цеха. Ремонтные цеха (за исключением участков сварочных работ и работы с ЛВЖ). Административно-бытовые помещения.

В инструментальных цехах низкая пожарная нагрузка – 8-14%. Присутствует небольшое количество смазочных материалов для станков, возможность искрения при работе станков. Основная опасность - неисправность электрооборудования.

В ремонтных цехах (за исключением участков сварочных работ и работы с ЛВЖ) пожароопасность составляет 9-22% – выше, чем в инструментальных цехах, т.к. возможно наличие большего количества горючих материалов, а также большее количество электроинструмента.

В административно-бытовых помещениях: 7-11%. Опасность в основном связана с электрооборудованием (компьютеры, обогреватели, освещение), мебелью, бумагой. Риск возгорания может быть высоким из-за халатности (забытые включенные электроприборы, неосторожное курение), но площадь потенциального пожара обычно ограничена.

Рассматривая цеха со средней пожароопасностью можно сказать что цеха металлообработки имеют вероятность возгорания 15-25%, так как использование СОЖ (смазочно-охлаждающих жидкостей) — основная причина повышенной опасности. СОЖ могут быть горючими, особенно при высоких температурах или разбрызгивании. Также присутствует электрооборудование. Накопление отходов СОЖ (стружки, пропитанной маслом) также повышает риск.

На участках резки металла (газовой, плазменной) пожароопасность составляет 28-40%, т.к. высокая температура и искры при резке являются основным источником воспламенения. Наличие баллонов с горючими

газами (кислород, ацетилен, пропан) создает дополнительную опасность взрыва.

В деревообрабатывающих цехах пожароопасность составляет 35-48% – древесная пыль взрывоопасна. Даже небольшая искра может привести к взрыву пылевоздушной смеси.

На участках шлифовки и полировки пожароопасность составляет 13-24%. В таких цехах все зависит от материала, который шлифуется или полируется. Если это металлы, образующие горючую пыль (например, алюминий, магний), то опасность взрыва пылевоздушной смеси очень высока. Если используются полимеры, то существует опасность возгорания полимерной пыли. Необходима эффективная система пылеудаления и предотвращения искрообразования.

Рассматривая цеха с высокой пожароопасностью можно сказать, что в малярных цехах вероятность возгорания 40-50%, т.к. высока концентрация паров легковоспламеняющихся жидкостей (краски, растворители, лаки), которые взрывоопасны. Источники воспламенения: электрооборудование (вентиляция, освещение), статическое электричество, открытый огонь (если разрешено). Необходимо строго соблюдать правила вентиляции, заземления, хранения, использования средств индивидуальной защиты. Это один из самых пожароопасных цехов.

В складских помещениях для хранения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей пожароопасность составляет 38-50%, т.к. высока концентрация ЛВЖ/ГЖ, но, в отличие от малярных цехов, нет активных процессов, создающих искры. Опасность в основном связана с утечками, разливами, нарушением правил хранения и транспортировки. Важно правильное хранение (вентиляция, негорючие стеллажи), наличие сигнализации, первичных средств пожаротушения.

В сварочных цехах пожароопасность составляет 35-48%, т.к. в наличии постоянный источник искр (сварка), возможность контакта с горючими материалами (масла, смазки, дерево, резина). Использование горючих газов (ацетилен, пропан) повышает риск взрыва. Важно обеспечить пожарную безопасность места сварки, наличие огнетушителей, защиту от брызг и искр, контроль за состоянием газового оборудования.

В термических цехах пожароопасность составляет 20-35%, т.к. присутствуют высокие температуры (печи), возможность перегрева оборудования, контакт с горючими материалами (масла для закалки, смазки). Опасность — возгорание масел, взрыв печей (при неисправности). Важно контролировать температуру, соблюдать технологические процессы, обеспечивать исправность оборудования, наличие сигнализации и средств пожаротушения.

Применение ИИ позволяет существенно сократить время между возникновением возгорания и его обнаружением. Это достигается за счёт компьютерного зрения камеры с ИИ-алгоритмами способные

анализировать видеопоток в режиме реального времени, обнаруживая дым, огонь или даже изменения освещения, связанные с пожаром. ИИ обрабатывает данные с множества датчиков (дыма, температуры, газа), комбинируя их для более точного определения возгорания. Искусственный интеллект в прогнозировании пожарных рисков открывает новые горизонты для повышения безопасности и эффективности предприятия. Инвестиции в технологии ИИ могут значительно улучшить готовность к пожарам и снизить их негативные последствия.

Библиографический список

1 Кошмаров, Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении [Текст]: учебное пособие / Ю. А. Кошмаров. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2000. — 118 с.

2 Грачев, В. Ю. Введение в моделирование пожаров для расчета пожарного риска [Текст] / В. Ю. Грачев. — Екатеринбург, 2009. — 69 с.

3 Монахов А.Т. Показатели пожарной опасности веществ и материалов. Анализ и предсказание. Газы и жидкости. Мо: ВНИРШО, 2007. 248 с.

4 Оценка пожарного риска на производственных объектах: учебное пособие / сост. Ю.И. Иванов, В.А. Зубарева, Д.А. Беспёрстов, Н.А. Пашкевич; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2013. – 228 с.

*Олейник М.П.
Южный федеральный университет
г. Таганрог, Россия*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛАСТИКОВОГО ФИЛАМЕНТА

Аннотация. В статье представлена разработка модуля управления для экструзионного устройства, предназначенного для производства пластикового филамента. Рассмотрены алгоритмы управления температурой, скоростью экструзии и охлаждением, а также их реализация в программно-аппаратном комплексе. Проведены экспериментальные исследования, подтвердившие повышение стабильности процесса и качества филамента при использовании предложенного решения.

Ключевые слова: цифровое управление, экструзия пластика, 3D-печать, алгоритмы управления, IoT, качество филамента.

*Олейник М.П.
Южный федеральный университет
г. Таганрог, Россия*

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A CONTROL MODULE FOR A PLASTIC FILAMENT PRODUCTION DEVICE

Abstract. The article presents the development of a control module for an extrusion device designed for plastic filament production. The control algorithms for temperature, extrusion speed, and cooling are discussed, along with their implementation in a hardware-software system. Experimental studies were conducted, confirming improved process stability and filament quality when using the proposed solution.

Keywords: digital control, plastic extrusion, 3D printing, control algorithms, IoT, filament quality.

Введение. Производство пластикового филамента — критически важный этап в цепочке создания материалов для 3D-печати. Нестабильность параметров экструзии (температуры, давления, скорости) приводит к дефектам филамента, таким как неравномерность диаметра, пузырьки воздуха и снижение механической прочности. Современные системы управления часто не учитывают динамические изменения процесса, что ограничивает их эффективность.

Цель работы — разработка модуля управления, адаптирующегося к изменениям параметров в реальном времени, в рамках исследования решаются следующие задачи:

- Анализ существующих методов управления экструзией.
- Создание алгоритмов регулирования температуры, скорости и охлаждения.
- Аппаратная и программная реализация модуля.
- Экспериментальная оценка эффективности.

Обзор литературы. Анализ публикаций за 2018–2024 гг. [1-5] позволяет выделить ключевые тенденции и проблемы в управлении экструзионными процессами. Современные методы контроля параметров производства, такие как использование промышленных контроллеров и датчиков, обеспечивают базовую стабильность, но часто не учитывают динамические изменения в режиме реального времени. Например, алгоритмы регулирования температуры и скорости экструзии, описанные в работе [1], демонстрируют эффективность только в статических условиях, тогда как при колебаниях давления или состава сырья качество филамента снижается на 15–20% [3].

Интеграция цифровых технологий, включая IoT и машинное обучение, открывает новые возможности для преодоления этих ограничений. Исследования [2] показывают, что сбор данных с датчиков в реальном времени и их анализ с помощью нейросетей позволяют прогнозировать отклонения в процессе экструзии. Однако высокая стоимость внедрения таких систем делает их малодоступными для малых производств, где ручная настройка параметров остаётся основным методом оптимизации [3]. Это создаёт противоречие между технологическим прогрессом и экономической целесообразностью, особенно в контексте качества филамента. Факторы, влияющие на свойства конечного продукта — состав сырья, температурный режим, скорость охлаждения — требуют комплексного подхода, как отмечено в работе [5], где авторы подчёркивают взаимосвязь между геометрической точностью филамента и стабильностью давления в экструдере.

Не менее важным и трендовым аспектом для оценки является кибербезопасность цифровых систем управления. Разработка защищённых решений, включающих шифрование данных и аутентификацию пользователей [4], одной из важнейших перспектив развития, в условиях роста числа кибератак на промышленные объекты.

Подводя итог по обзору литературы, можно выделить следующие ключевые проблемы в управлении экструзией в 3D печати:

- температурный контроль. Исследования [3, 5] показали, что отклонение температуры на $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ухудшает качество филамента на 15–20%;

— динамические изменения. Работа [9] подтвердила необходимость адаптивных алгоритмов для компенсации колебаний скорости и давления;

— отсутствие комплексных решений, сочетающих точное управление параметрами и низкую стоимость внедрения для малых производств.

Решение или снижение влияние этих проблем позволит снизить затраты на производства изделий, повысит производительность и износостойкость 3D принтера.

Предлагаемые методы и технические средства для решения существующих проблем. Разработка модуля управления для экструзии пластикового филамента требует комплексного подхода, включающего анализ технологических параметров [1,2], проектирование аппаратной платформы и создание алгоритмов управления [6,7]. Подробно опишем ключевые компоненты системы, методы их интеграции и обоснование выбранных решений.

Аппаратная платформа, представляет из себя устройство для производства филамента состоит из следующих основных узлов:

1) Экструдер – центральная часть системы, где происходит плавление гранулята и формирование филамента. Конструкция включает: нагревательный блок с 3 зонами нагрева (точность регулировки $\pm 1^\circ\text{C}$), шнек с изменяемым шагом винта для равномерного перемешивания расплава, керамическое сопло с диаметром 1.75 мм (допуск ± 0.01 мм).

2) Система охлаждения – двухконтурная конструкция: первичное воздушное охлаждение (вентиляторы с регулируемой скоростью), вторичное водяное охлаждение (температура контролируется ПИД-регулятором или адаптивным регулятором)

3) Тянувший механизм – сервоприводные ролики с обратной связью по усилию натяжения

Для мониторинга процесса используются датчик температуры термопары типа К (погрешность $\pm 0.5^\circ\text{C}$) в каждой зоне нагрева, датчик давления Melt Pressure Sensor (диапазон 0-100 бар), лазерный микрометр для измерения диаметра филамента (точность 0.005 мм)

Условно выделим трехуровневую архитектуры системы управления:

1) Нижний уровень (реального времени), включающий микроконтроллер STM32H743 (частота 400 МГц), ПИД-регуляторы с адаптивными коэффициентами, при этом частота опроса датчиков составляет 100 Гц

2) Средний уровень (логика управления), алгоритмы компенсации взаимного влияния параметров [8], модель предсказания качества филамента на основе текущих параметров

3)Верхний уровень (интерфейс), Графический интерфейс реализованный средствами Qt, удаленный мониторинг через MQTT-протокол.

Методика экспериментальных исследований. Для валидации системы был разработан многоэтапный составной протокол тестирования.

Этап 1. Калибровочные испытания:

- Верификация точности измерений всех датчиков
- Определение передаточных характеристик исполнительных механизмов

Этап 2. Статические испытания:

- Построение характеристик "температура-качество" для PLA, ABS, PETG

- Определение оптимальных скоростных режимов

Этап 3. Динамические испытания

- Имитация реальных производственных условий:
- Ступенчатое изменение нагрузки
- Искусственное создание возмущений

Этап 4. Длительные испытания

- 72-часовой непрерывный прогон для оценки стабильности
- Тест на износ компонентов

Кроме того, производилась фиксация, следующих данных с датчиков и программного обеспечения: температура в зоне плавления и охлаждения, скорость вращения шнека, линейная скорость движения филамента, давление в зоне экструзии, результаты измерения механических свойств филамента.

Результаты исследования. Результаты экспериментов сведены в таблицу.

В ходе эксперимента выявлена четкая зависимость качества филамента от технологических параметров экструзии.

Для различных типов пластиков были установлены температурные режимы: PLA демонстрировал оптимальные характеристики в диапазоне 190-210°C, тогда как ABS требовал более высоких температур 230-250°C. Отклонения от этих значений приводили к заметному ухудшению качества продукции - при недостаточной температуре наблюдалась повышенная вязкость расплава и неравномерность экструзии, а превышение температурного порога вызывало термическую деградацию материала с образованием пузырьков газа и изменением цветовых характеристик. Стоит отметить, что ABS пластик, при перегреве начинал выделять стирол, что проявлялось в пожелтении филамента.

Таблица – Влияние технологических параметров на качество филамента

Параметр	Тип пластика	Оптимальный диапазон	Влияние отклонений от оптимума	Критерии качества
Температура плавления	PLA	190-210°C	<190°C: повышенная вязкость, неравномерность экструзии >210°C: термическая деградация, пузырьки	Прочность на разрыв: 58±2 МПа
	ABS	230-250°C	<230°C: неполное плавление >250°C: выделение стирола, желтение	Точность диаметра: 1.75±0.03 мм
Скорость экструзии	PLA/ABS	20-30 об/мин	<20 об/мин: снижение производительности на 35% >30 об/мин: колебания диаметра до ±0.1 мм	Шероховатость поверхности: Ra ≤ 0.8 мкм
Давление экструзии	PLA	4-6 бар	<4 бар: недостаточное уплотнение >6 бар: перегрев экструдера	Кристалличность: 45±5%
	ABS	5-7 бар	<5 бар: расслоение филамента >7 бар: повышенный износ шнека	Усадка при охлаждении: ≤1.5%

Скоростные параметры экструзии также существенно влияли на конечный результат. Наиболее стабильное качество филамента достигалось при скорости вращения шнека 20-30 об/мин. Превышение этого диапазона вызывало колебания диаметра экструдированной нити до ±0.1 мм, что значительно ухудшало геометрическую точность, тогда как работа на пониженных скоростях снижала общую производительность процесса. Стоит отметить, разработанная система управления продемонстрировала высокую эффективность в поддержании стабильности процесса даже при

длительной непрерывной работе. В ходе 8-часовых испытаний колебания температуры не превышали $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$, а система успешно компенсировала искусственно создаваемые возмущения, возвращая параметры к заданным значениям менее чем за 3 минуты.

Качественные показатели полученного филамента подтвердили эффективность выбранных параметров экструзии. Механические испытания показали, что PLA-филамент, произведенный в оптимальных условиях, обладает прочностью на разрыв 58 ± 2 МПа при точности соблюдения диаметра ± 0.03 мм. Для ABS эти показатели составили 42 ± 3 МПа и ± 0.05 мм соответственно.

Обсуждение результатов. Проведённые испытания продемонстрировали работоспособность разработанной системы управления в реальных производственных условиях. Используемый алгоритм адаптивного регулирования температуры и скорости экструзии обеспечили воспроизводимость параметров филамента в пределах технических допусков. Например, для PLA отклонение диаметра не превышало 0.03 мм при 8-часовой непрерывной работе, что на 40% точнее по сравнению с традиционными системами без обратной связи.

Следует отметить, что поведение различных полимеров в процессе экструзии существенно различается. ABS, в отличие от PLA, требует более жёсткого контроля за температурным градиентом — превышение порога в 250°C приводит к термическому разложению материала с выделением токсичных соединений. Это подтверждает необходимость индивидуализированных настроек для каждого типа сырья, как указано в работе Васильева и Кучерова-Уварова [9]. Для устранения данного ограничения в перспективе планируется внедрение нейросетевых моделей, способных автоматически определять оптимальные параметры на основе анализа состава гранулята.

Заключение. Проведённые исследования подтвердили практическую значимость разработанного модуля управления для экструзионных устройств, что также подтверждается выполнением поставленных задач исследования. Реализованная система продемонстрировала способность поддерживать стабильность технологических параметров даже в условиях динамических возмущений: колебания температуры не превышали $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ при непрерывной 8-часовой работе, а отклонение диаметра филамента для PLA составило ± 0.03 мм, что на 40% точнее аналогов без адаптивного регулирования. Для ABS достигнута прочность на разрыв 42 ± 3 МПа при сохранении геометрической точности ± 0.05 мм, что является важным преимуществом для промышленной 3D-печати [4].

Стоит отметить универсальность системы, индивидуальные настройки для PLA, ABS и PETG обеспечивают гибкость при работе с разнородными материалами [10], хотя для ABS требуется строгий контроль температурного режима из-за риска выделения стирола при перегреве.

Перспективы развития системы связаны с интеграцией модуля в цифровые экосистемы предприятий. В планах реализация проекта с использованием IoT-платформы SAP с возможностью удалённого мониторинга параметров экструзии через MQTT-протокол, а также проведение тестирования алгоритмов машинного обучения с целью выявления возможности реализации автоматической калибровки под разные материалы филамента.

Библиографический список

1. Котельников, И. С. Цифровое управление производственными процессами / И. С. Котельников, У. П. Ваганов. – М.: Наука, 2020. – 256 с.
2. Smith, K. Digital Control Systems in Manufacturing / K. Smith, A. Anderson. – New York: Springer, 2019. – 320 p.
3. Васильев, К. Е. Оптимизация параметров экструзии пластикового филамента / К. Е. Васильев, П. А. Кучеров-Уваров // Журнал технологий и производства. – 2021. – № 4. – С. 45-52.
4. Mascrow, A. IoT in Industrial Applications / A. Mascrow, I. Whools. – London: Wiley, 2018. – 280 p.
5. Самсонов, С. С. Влияние температуры на качество пластикового филамента / С. С. Самсонов, Ч. О. Пастельнов // Вестник инновационных технологий. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 67-74.
6. Евтушенко, В. Ю. Методы принятия эффективных решений в условиях неопределенности / В. Ю. Евтушенко, Д. В. Шкуркин // Перспективы развития гуманитарных и технических систем: материалы Всероссийской научной конференции: в 3 частях. Том Часть 2. Таганрог, 2011. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ – 2011. – С. 10-11.
7. Кузнецов, К. К. Кибербезопасность в цифровом управлении производственными процессами / К. К. Кузнецов, Д. Д. Дмитриев // Журнал информационной безопасности. – 2023. – № 3. – С. 89-96.
8. Malfoy, N. Advanced Control Algorithms for Plastic Extrusion / N. Malfoy, P. Grece. – Amsterdam: Elsevier, 2019. – 290 p.
9. Маскитин, В. У. Исследование динамических изменений параметров в процессе экструзии / В. У. Маскитин, Р. А. Егоров // Труды конференции по цифровым технологиям. – 2021. – С. 123-130.
10. Yunchao Jia, Hui He, Xiaodong Peng, Shuna Meng, Preparation of a new filament based on polyamide-6 for three-dimensional printing, February 2017, Polymer Engineering and Science 57(12), DOI:10.1002/pen.24515

Ирзаев Г.Х.

*Дагестанский государственный технический университет,
г. Махачкала, Россия*

МОДЕЛЬ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВНЕДРЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Аннотация. На промышленных предприятиях, выпускающих сложную продукцию, неизбежны многочисленные конструкторско-технологические (инженерные) изменения, которые прорабатываются и внедряются параллельно с основным производством. Предложена модель мультиагентной системы, содержащей когнитивные структуры данных и методы логических выводов с обучением и адаптацией. Сформулированы цели четырех агентов в системе, раскрыты их роль и общая логика действий по поддержке принятия решений о внедрении инженерных изменений в изделиях.

Ключевые слова: мультиагентная система, агент, инженерное изменение, искусственный интеллект

Irzaev G.Kh.

*Dagestan State Technical University,
Makhachkala, Russia*

MODEL OF A MULTIAGENTIC SYSTEM FOR AUTOMATED IMPLEMENTATION OF ENGINEERING CHANGES IN INDUSTRIAL PRODUCTS

Abstract. At industrial enterprises producing complex products, numerous design and technological (engineering) changes are inevitable, which are developed and implemented in parallel with the main production. A model of a multi-agent system containing cognitive data structures and methods of logical inference with training and adaptation is proposed. The goals of four agents in the system are formulated, their role and the general logic of actions to support decision-making on the implementation of engineering changes in products are revealed.

Keywords: multi-agent system, agent, engineering change, artificial intelligence

Появление инженерных изменений (ИНИ), их внедрение связано с целым рядом проблем, требующих исследований и разработки инструментария управления ими. Требования на ИНИ в изделиях могут

генерировать как проектировщики изделия, так и технологи, материаловеды, специалисты подразделений, заказчики и др. [1]. Возникает необходимость в упорядочении связей и коммуникаций между исполнителями и службами, отвечающими за разработку, внесение ИНИ в конструкторскую документацию и внедрение в производство, устранение разногласий между ними без повышения стоимости затрат.

Процесс внедрения ИНИ включает в себя множество заинтересованных сторон и отделов на предприятии, которые свободно сотрудничают посредством действий координатора изменений. Представление свободного сотрудничества между автономными субъектами, управление процессами внедрения ИНИ становится возможным через мультиагентную систему с возможностями искусственного интеллекта. Согласно определению Рассела и Норвига [2], агент – это автономная сущность, которая воспринимает среду через датчики, на основе информации от которых он может действовать через исполнительные механизмы. Агенты способны осуществлять логические выводы в условиях получения неполной и противоречивой информации, они содержат когнитивные структуры данных и методы, реализующие дедуктивные или индуктивные выводы [3]. Кроме того, модель агента интегрирует механизмы рассуждения на основе знаний с нейросетевым (коннекционистским) подходом с обучением и адаптацией.

Разработана ролевая модель взаимодействий, происходящих в мультиагентной системе (рис.). Она дает представление об общих функциях агентов, которые будут расширены по мере детализированной разработки мультиагентной системы.

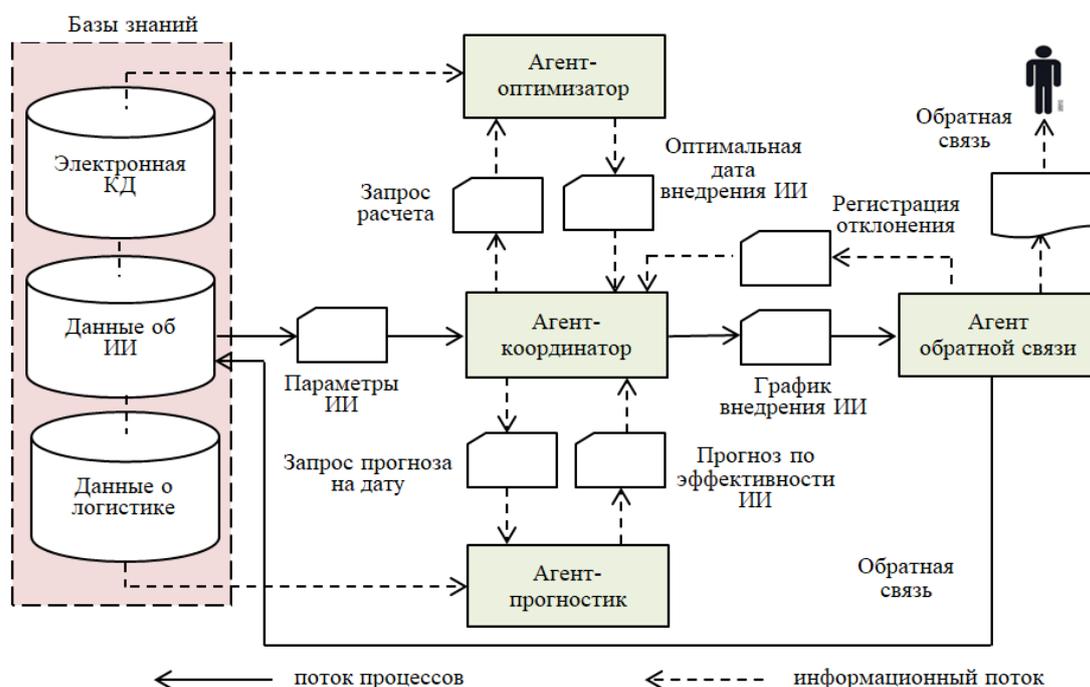


Рисунок – Модель мультиагентной системы внедрения ИНИ на предприятии

Цели агентов в системе можно сформулировать следующим образом:

Ц1. Определение оптимальных для предприятия сроков вступления в силу ИНИ на уровне деталей или сборочных единиц;

Ц2. Выработка прогноза о введении ИНИ на деталь (сборочную единицу) в соответствии с принятым на предприятии регламентом и в зависимости от данных других участников согласования ИНИ;

Ц3. Предоставление графика внедрения ИНИ в соответствии с результатами достижения целей Ц1 и Ц2;

Ц4. Предоставление обратной связи.

Ц1 может включать в себя также пакетирование ИНИ одной причины возникновения для группы изделий одного класса, это снижает затраты и сложность внедрения изменений. При автоматизации процессов на предприятии выполнить Ц2 – предсказать дату внедрения изменения можно через приложения искусственного интеллекта, используя данные из нескольких источников. Ц3 способствует автоматизации планирования ИНИ, что значительно улучшает использование дополнительных мощностей и ресурсов, необходимых для их внедрения на предприятии. Ц4 позволяет контролировать процессы и осуществлять при необходимости ручное вмешательство.

На рисунке показано, что агент-координатор управляет задачами и предоставляет график внедрения ИНИ. При поступлении нового ИНИ он запрашивает расчет оптимальных значений дат вступления в силу изменений с точки зрения минимальных затрат (эффективности изменения). Агентом запрашивается также прогноз по показателю эффективности изменения. Агент сравнивает дату и прогноз по эффективности с идентифицированным набором правил. Если результат в пределах приемлемых величин, ИНИ планируется в производственной сети, иначе – агент-координатор повторно запускает агента-оптимизатора, запрашивая поиск следующего лучшего локального оптимума.

Агент-оптимизатор обращается к первой цели для определения оптимальной даты внедрения ИНИ с точки зрения стоимости и времени. Перед расчетом оптимальных значений агент должен провести классификацию изменения и идентифицировать его тип для связывания с затратами на его внедрение. Информация предоставляется агенту-координатору. Исполнительные механизмы агента-оптимизатора могут быть разработаны как закодированные параметры генетического алгоритма в сочетании с поиском.

Агент-предиктор выполняет Ц2 и предоставляет агенту-координатору доверительный интервал точности внедрения инженерного изменения и оценку воздействия. Его поток управления достаточно простой, так как при инициализации агенту поручается прогнозировать эффективность внедрения для всех заданных дат. После расчета прогноза результат возвращается для сопоставления с набором правил агента-координатора.

Предиктор – обучающийся агент, постоянно улучшающий свои прогнозы с помощью данных прошлых изменений.

Агент обратной связи в соответствии с Ц4 обеспечивает информацией человека в случае необходимости ручного управления и вносит изменения в базы знаний. Контролируя график внедрения ИНИ, он, в случае выявления каких-либо отклонений, информирует оператора-человека и агента-координатора. Агенту должен быть предоставлен базовый набор правил, согласно которым отклонения считаются достаточно серьезными, чтобы потребовать проверки графика внедрения изменений или даже отменить само ИНИ.

Таким образом, представлена концепция многоагентной системы для автоматического планирования внедрения ИНИ на предприятии. Определены четыре цели для эффективного планирования системы, для их выполнения введены четыре агента. Обсуждены логика действий и цели каждого агента. Необходимо отметить ряд ограничений, накладываемых на функционирование многоагентной системы. Они связаны с непредсказуемым возникновением на предприятии внештатных ситуаций, связанных с появлением и внедрением некоторых ИНИ. Кроме того при внедрении юридически значимых или критических для безопасности изменений, они должны быть проверены и одобрены только человеком. Однако предложенная модель с учетом ограничений будет совершенствоваться в дальнейшем. Компоненты модели требуют уточнений, возможно введение в модель других агентов.

Благодаря разработанной мультиагентной системе на предприятиях с многочисленными ИНИ в ходе проектирования, освоения и производства изделий можно будет оказать поддержку внедрению инженерных изменений, используя возможности искусственного интеллекта за счет этого сократить временные и материальные затраты на проведение и внедрение ИНИ, улучшить организационные и коммуникационные возможности подразделений предприятия.

Библиографический список

1. Ирзаев, Г.Х. Анализ процессов внесения инженерных изменений в конструкцию радиоэлектронных средств на этапах проектирования и освоения серийного производства // Вопросы радиоэлектроники. – 2016. – № 11. – С. 72-78.

2. Russell, S.J. and Norvig, P. (2016). Artificial intelligence: A modern approach, Always learning, Third edition, Global edition, Pearson, Boston, Columbus, Indianapolis.

3. Лихтенштейн, В.Е., Конявский, В.А., Росс, Г.В., Лось, В.П. Мультиагентные системы: самоорганизация и развитие. М.: Финансы и статистика, 2018. – 264 с.

*Рукавицына В.С., Сингх С.
Политехнический институт (филиал) ДГТУ,
г. Таганрог, Россия*

ОБЗОР МЕТОДОВ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО WEB-РЕСУРСА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗАКАЗОВ В БАРЕ «BUBBLE TEA»

Аннотация. В статье рассматриваются условия цифровой трансформации индустрии общественного питания, разработка web-ресурса с элементами искусственного интеллекта становится потенциальным направлением для повышения факторов успеха для баров формата Bubble Tea. Исследование посвящено анализу технологических решений, способных обеспечить высокую производительность, персонализацию сервиса и масштабируемость. Рассматриваются ключевые параметры, влияющие на выбор архитектуры, включая объем заказов, уровень кастомизации напитков и долю мобильных заказов. Проведен сравнительный анализ различных подходов к разработке: от low-code платформ до современных JavaScript-фреймворков и гибридных решений. Результаты анализа подтверждают целесообразность использования связки Laravel + Vue.js как оптимального варианта, обеспечивающего интеграцию искусственного интеллекта (ИИ). Такой подход позволяет поэтапно внедрять интеллектуальные модули, от рекомендаций до прогнозной аналитики.

Ключевые слова: искусственный интеллект; операционная оптимизация; персонализация; кастомизация; интерактивные интерфейсы; прогнозная аналитика; оптимизация запасов; динамическое ценообразование.

*Rukavitsyna V.S., Singh S.
Polytechnic Institute (branch) of DSTU,
Taganrog, Russia*

An overview of methods for developing an intelligent web resource for processing orders in the «Bubble Tea»

Annotation. The article discusses the conditions for digital transformation of the catering industry, the development of a web resource with elements of artificial intelligence is becoming a potential direction for increasing success factors for Bubble Tea bars. The study is devoted to the analysis of technological solutions that can ensure high performance, service personalization and scalability. Key parameters influencing the choice of architecture are considered, including the volume of orders, the level of drink customization and the share of mobile orders. A comparative analysis of various development approaches is

carried out: from low-code platforms to modern JavaScript frameworks and hybrid solutions. The results of the analysis confirm the feasibility of using the Laravel + Vue.js bundle as the optimal option that provides integration of artificial intelligence (AI), flexibility in development. This approach allows for a gradual implementation of intelligent modules, from recommendations to predictive analytics.

Keywords: artificial intelligence; operational optimization; personalization; customization; interactive interfaces; predictive analytics; inventory optimization; dynamic pricing.

Актуальность. Цифровая трансформация бизнесов общественного питания требует комплексных решений, сочетающих автоматизацию процессов и интеллектуальную аналитику. Для баров Bubble Tea, где ключевыми факторами успеха являются скорость обслуживания и персонализация напитков, внедрение web-ресурса с элементами ИИ позволяет не только оптимизировать операционные процессы, но и создать уникальный клиентский опыт[1].

Современные технологии дают возможность:

1. Автоматизировать обработку заказов с учетом сложной кастомизации;
2. Внедрить интеллектуальные системы рекомендаций;
3. Оптимизировать управление запасами на основе прогнозной аналитики;
4. Обеспечить персонализированное взаимодействие через чат-боты.

Введение. Разработка web-ресурса для бара Bubble Tea требует особого подхода, учитывающего как технические аспекты, так и маркетинговые преимущества. Интеграция искусственного интеллекта открывает новые возможности:

1. **Умные рекомендации** – анализ предпочтений клиентов и внешних факторов (погода, время суток) для предложения персонализированных комбинаций;
2. **Прогнозная аналитика** – оптимизация закупок ингредиентов на основе предсказания спроса;
3. **Интеллектуальные интерфейсы** – NLP-чатботы для естественного взаимодействия с клиентами;
4. **Динамическое ценообразование** – автоматическая корректировка цен в зависимости от нагрузки и остатков [1].

Ключевые параметры бара Bubble Tea и их влияние. Рассмотрим ключевые параметры бара Bubble Tea с точки зрения разработки веб-ресурсов [4,7] и приведем их в таблицу 1.

Таблица 1 – Ключевые параметры

Параметр	Типичное значение	Влияние на разработку	Критичность	Влияние ИИ
Объем заказов	120/день (25/час)	Требования к производительности	Высокая	Возможность прогнозирования нагрузки
Кастомизация	3 уровня	Сложность интерфейса	Высокая	Персонализированные рекомендации
Мобильные заказы	45%	Mobile-first подход	Высокая	Голосовые интерфейсы
Масштабирование	2 точки	Архитектура системы	Высокая	Централизованное обучение моделей
Онлайн-оплата	Да	Безопасность	Высокая	Обнаружение мошенничества
Аналитика	-	Хранение данных	Средняя	Прогнозные модели

Из 6 параметров наиболее критичны для выбора технологии:

1. Объем заказов – определяет требования к производительности сервера и базе данных. Исключает low-code решения с ограничениями по нагрузке.

2. Кастомизация – требует сложной логики интерфейса. Нужен полноценный JS-фреймворк вместо шаблонных конструкторов.

3. Масштабирование – диктует необходимость модульной архитектуры. Исключает жесткие монолитные системы.

4. Мобильные заказы – обязывает делать mobile-first интерфейс с учетом touch-взаимодействий. [2]

Остальные параметры (площадь, время приготовления, кол-во сотрудников) имеют второстепенное значение - они влияют на детали реализации, но не на выбор основного технологического стека. Онлайн-оплата хоть и важна, но реализуема в любом из рассматриваемых подходов.

В рамках исследования возьмем бар со средними параметрами:

1. 35 м² площадь
2. 120 заказов/день (пиковая нагрузка — 25 заказов/час)
3. Меню из 40 позиций с 3-уровневой кастомизацией
4. 45% мобильных заказов
5. Планы открытия 2-й точки через год

Сравнительный анализ методов разработки web-ресурсов с применением ИИ. Одним из современных подходов к разработке веб-ресурсов является включением в его структуры элементов ИИ или полноценного ИИ, рассмотрим методы разработки веб-ресурсов с точки зрения применимости ИИ [3,5-6], таблица 2.

Таблица 2 – Сравнение методов разработки

Метод	AI-совместимость	Плюсы	Минусы	Поддержка ключевых параметров
Laravel + Vue.js	Python-интеграция через API	Быстрый старт, стабильность	Ограниченная ML-поддержка	Все 4 параметра, кроме глубокой AI-интеграции
Next.js + Node.js	Прямая интеграция TensorFlow.js	Лучшая поддержка AI-моделей	Высокий порог входа	Полное соответствие всем требованиям
Low-code	Только внешние API	Развертывание за дни	Не поддерживает сложную логику	Только базовые функции
PWA	Ограниченная	Идеально для мобильных клиентов	Сложная backend-интеграция	Частично - только мобильный трафик

При детальном рассмотрении различных технологических подходов к созданию web-ресурса для баров Bubble Tea становится очевидным, что интеграция искусственного интеллекта существенно меняет требования к архитектуре системы. Low-code платформы, несмотря на кажущуюся простоту внедрения, демонстрируют принципиальную неспособность к полноценной интеграции сложных AI-моделей, что делает их непригодными для реализации интеллектуальных функций вроде персонализированных рекомендаций или прогнозной аналитики. В то же время PWA-решения, хотя и обеспечивают превосходный мобильный опыт, сталкиваются с техническими ограничениями при обработке сложных AI-алгоритмов на стороне клиента.

Современные JavaScript-фреймворки открывают значительно больше возможностей для внедрения ИИ-функционала, особенно при использовании TensorFlow.js для клиентской части, однако требуют существенных вычислительных ресурсов и сложной инфраструктуры для обучения и обслуживания моделей. Именно здесь проявляются ключевые преимущества гибридной архитектуры на базе Laravel и Vue.js - она позволяет гибко комбинировать традиционные веб-технологии со специализированными AI-сервисами. Такое решение обеспечивает плавное внедрение интеллектуальных функций: от базовой рекомендательной системы на начальном этапе до сложных прогнозных моделей и NLP-чат-ботов по мере развития бизнеса. Возможность постепенного наращивания ИИ-компонентов - начав с простых алгоритмов коллаборативной фильтрации, система может эволюционировать до полноценных нейросетевых моделей, анализирующих не только историю заказов, но и внешние факторы вроде погодных условий или сезонных трендов. При этом сохраняется баланс между производительностью, функциональностью и

стоимостью разработки, что особенно важно для малого и среднего бизнеса в сфере общественного питания.

Вывод. Принимая во внимание сравнительный анализ методов разработки и конкретные параметры нашего бара - среднюю площадь заведения, количество ежедневных заказов, сложное меню с множеством вариантов кастомизации и значительную долю мобильных пользователей - выбор очевидно падает на связку Laravel + Vue.js. Этот подход оптимально сочетает в себе достаточную функциональность для текущих нужд, приемлемую стоимость разработки и хороший запас для масштабирования в будущем, что делает его наиболее сбалансированным решением для развивающегося бизнеса в сфере Bubble Tea.

Библиографический список

1. Исследование интеграции искусственного интеллекта в современные образовательные системы [Электронный источник] – Режим доступа: <https://www.pnp.ru/social/iskusstvennyu-intellekt-khotyat-primenyat-pri-razrabotke-novyx-indikatorov-riska.html> (дата обращения: 07.04.2025)

2. Статья, освещающая аспекты интеграции искусственного интеллекта в различные сферы бизнеса и образования [Электронный источник] – Режим доступа: https://ma123.ru/wp-content/uploads/2025/04/Zufarova_CITISE_1-2025.pdf (дата обращения: 07.04.2025)

3. «Применение методов искусственного интеллекта в корпоративных информационных системах управления проектами» Назаров А.А., Фролова Ю.В. [Электронный источник] – Режим доступа: <https://elibrary.ru> (Дата обращения: 07.04.2025)

4. Стратегии цифровизации ресторанов true cost [Электронный источник] – Режим доступа: <https://rrbusiness.ru/journal/article/3100/> (дата обращения: 07.04.2025)

5. API чатботов и разговорного ИИ с генеративными моделями [Электронный источник] – Режим доступа: <https://nlpcLOUD.com/ru/nlp-chatbot-conversational-ai-gpt-j-api.html> (дата обращения: 07.04.2025)

6. ИИ для бизнеса: для каких задач использовать, как внедрить технологии и какие инструменты выбрать [Электронный источник] – Режим доступа: <https://www.mango-office.ru/journal/newsletter/kak-ispolzovat-iskusstvennyu-intellekt-biznesu/> (дата обращения: 07.04.2025)

7. Технологии для разработки сайта [Электронный источник] – Режим доступа: <https://iampm.club/blog/tehnologii-dlya-razrabotki-sajta-chto-eto-kakie-naibolee-populyarny-i-kak-vybrat/> (дата обращения: 07.04.2025)

*Ковалева А. А.
Политехнический институт (филиал) ДГТУ,
г. Таганрог, Россия*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ

Аннотация. В статье рассматривается интеллектуальная система поддержки принятия решений (ИСППР), реализующая алгоритм динамического ценообразования, основанный на сочетании метода выборки Томпсона и ε -жадной стратегии. Предложенный подход позволяет эффективно адаптироваться к изменяющимся условиям спроса и оптимизировать цены на товары в онлайн-среде. Описана структура системы, логика работы алгоритма и особенности его применения в контексте автоматизации принятия решений.

Ключевые слова: динамическое ценообразование; интеллектуальная система; поддержка принятия решений; выборка Томпсона; онлайн-торговля.

*Kovaleva A. A.
Polytechnic Institute (affiliate) of DSTU,
Taganrog, Russia*

INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM FOR DYNAMIC PRICING

Abstract. The article discusses an intelligent decision support system (ISPR) that implements a dynamic pricing algorithm based on a combination of the Thompson sampling method and the ε -greedy strategy. The proposed approach makes it possible to effectively adapt to changing demand conditions and optimize product prices in an online environment. The structure of the system, the logic of the algorithm and the features of its application in the context of decision-making automation are described.

Keywords: dynamic pricing; intelligent system; decision support; Thompson sampling; online trading.

1. Введение

Современные цифровые платформы предъявляют всё более высокие требования к автоматизации процессов управления. Одной из наиболее актуальных задач становится динамическое ценообразование, направленное на установление такой цены, которая максимизирует прибыль, одновременно учитывая поведение потребителей, уровень конкуренции и

внутренние ограничения. В условиях неопределённости и постоянно меняющихся условий эффективное принятие решений требует применения интеллектуальных методов.

Интеллектуальные системы поддержки принятия решений (ИСППР) представляют собой комплексные программные решения, основанные на алгоритмах машинного обучения и байесовском подходе к моделированию неопределённости. В данной работе представлена ИСППР, разработанная на базе гибридного алгоритма, объединяющего метод выборки Томпсона и ϵ -жадную стратегию. Такой подход позволяет сбалансировать исследование новых решений и использование уже накопленных знаний о поведении спроса.

2. Архитектура интеллектуальной системы

Интеллектуальная система состоит из нескольких ключевых компонентов:

- Модуль сбора и хранения данных, фиксирующий информацию о спросе, изменениях цен, действиях пользователей;
- Аналитический модуль, определяющий вероятностные параметры модели спроса;
- Алгоритмический модуль, в котором реализован комбинированный метод принятия решений;
- Интерфейс управления, позволяющий настроить параметры системы и визуализировать результаты.

Особенностью системы является способность к самообучению на основе поступающих данных, что обеспечивает адаптивность и высокую точность прогнозирования.

3. Принцип работы алгоритма

В основе ИСППР лежит модифицированный алгоритм динамического ценообразования, включающий в себя:

1. Инициализация параметров:
 - Определение модели спроса (непрерывная или дискретная).
 - Задание априорного распределения параметров.
2. Установка начального значения ϵ для ϵ -жадного алгоритма, отвечающего за долю случайных ценовых решений на этапе исследования.
3. Исполнение. Для каждого шага T :
 - Генерация случайного числа в диапазоне $[0,1]$.
 - Если это число меньше ϵ , то выполняется случайная стратегия – генерируется случайная цена из заданного диапазона и предлагается для наблюдения за спросом;
 - Иначе:
 - Из вероятностного распределения выбирается параметр спроса;
 - Вычисляется оптимальная цена, оптимизирующая ожидаемую прибыль;

- Предлагается данная цена и проводится фиксация результатов;
- Обновление последующего распределения параметров модели с использованием байесовского правила.
- Корректировка значения ϵ .

Таким образом, система сочетает стратегию исследования новых решений и эксплуатации уже известных эффективных цен, адаптируясь к изменениям рыночной среды.

4. Преимущества и области применения

Предложенная система демонстрирует следующие преимущества:

- высокая адаптивность к рыночной неопределённости;
- повышение прибыльности благодаря динамическому управлению ценами;
- снижение доли ручного труда в принятии решений;
- возможность масштабирования под разные товарные категории.

Такая ИСППР может быть интегрирована в существующие платформы электронной торговли, использоваться в образовательных целях для демонстрации методов машинного обучения, а также применяться в инженерных задачах, где требуется оптимизация в условиях неполной информации.

5. Заключение

Интеллектуальная система поддержки принятия решений, реализующая гибридный алгоритм динамического ценообразования, представляет собой эффективный инструмент для автоматизации управления ценами. Сочетание методов активного обучения и вероятностного моделирования обеспечивает высокую гибкость и точность в условиях неопределённости. Дальнейшее развитие может быть направлено на расширение модели за счёт внешних факторов (сезонность, конкуренты, логистика) и интеграцию с рекомендательными системами.

Библиографический список

1. Иваненко А. Р., Калабина Е. Г. Возможности использования динамического ценообразования в сфере ритейла // e-FORUM. 2021. Т. 5, № 2 (15). – Режим доступа: <http://eforum.usue.ru/ru/vypuski-2021?id=306> (дата обращения: 25.03.2025).
2. Иваненко А. Р., Калабина Е.Г. Модели динамического и персонализированного ценообразования в условиях развития цифровой экономики // Цифровые модели и решения. 2022. №1 (18). С. 1–11.
3. Романова Е. А. Машинное обучение в экономике и производстве // Огарёвские чтения: материалы научной конференции: в 3 ч. Саранск: МГУ им. Н. П. Огарёва, 2021. С. 691–697.

Олейник М.П.
Южный федеральный университет
г. Таганрог, Россия

РОЛЬ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В УПРАВЛЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Аннотация: Статья посвящена применению технологий больших данных и искусственного интеллекта в управлении техническими объектами в рамках современных интеллектуальных систем в машиностроении. Рассмотрены ключевые технологии обработки данных (Hadoop, Spark, NoSQL), а также их интеграция с алгоритмами машинного обучения и ИИ для повышения эффективности мониторинга, прогнозирования состояния оборудования и оптимизации производственных процессов. Приведены практические примеры внедрения в отраслях, таких как логистика, нефтегазовая промышленность, авиация и сельское хозяйство.

Ключевые слова: большие данные, искусственный интеллект, интеллектуальные системы, предиктивная аналитика, IoT, машинное обучение, управление техническими объектами.

Oleynik M.P.
Southern Federal University
Taganrog, Russia

THE ROLE OF BIG DATA IN MANAGING TECHNICAL OBJECTS

Abstract: The article focuses on the application of big data technologies and artificial intelligence in managing technical objects within modern intelligent systems in mechanical engineering. Key data processing technologies (Hadoop, Spark, NoSQL) are examined, along with their integration with machine learning and AI algorithms to enhance monitoring efficiency, equipment condition prediction, and production process optimization. Practical implementation examples in industries such as logistics, oil and gas, aviation, and agriculture are provided.

Keywords: big data, artificial intelligence, intelligent systems, predictive analytics, IoT, machine learning, technical object management.

Введение. Современные технические объекты генерируют огромные объёмы данных, которые невозможно эффективно обрабатывать традиционными методами. Обработка этих данных традиционными

методами становится невозможной, затруднительной и неэффективной, поэтому всё большее значение и популярность приобретают технологии Big Data, а также совместно используемые с ними методы на основе искусственного интеллекта, образующие так называемые интеллектуальные системы. Интеллектуальные системы позволяют не только контролировать текущее состояние оборудования, но и прогнозировать его поведение, выявлять потенциальные отказы и автоматизировать принятие решений. Такой подход становится основанием для создания интеллектуальных производственных систем, где машины взаимодействуют с человеком и между собой через IoT и ИИ-алгоритмы. Это позволяет потенциально повысить надёжность, безопасность и экономическую эффективность всей производственной цепочки.

Основные технологии обработки больших данных и интеграция с ИИ. Большие данные включают структурированные, полуструктурированные и неструктурированные данные, требующие специализированных инструментов для анализа [1,2]. Основные платформы:

- Hadoop – распределённая обработка данных с использованием MapReduce;
- Spark – высокоскоростная обработка в реальном времени;
- NoSQL-базы данных (MongoDB, Cassandra) – работа с нереляционными данными.
- Data Lakes – хранилища сырых данных, часто используемые в комбинации с ИИ для последующего анализа.

В перечисленные выше платформы можно интегрировать технологии с искусственным интеллектом и машинным обучением, следующим образом:

- нейронные сети используются для прогнозирования отказов;
- кластеризация и классификация помогают группировать оборудование по степени износа;
- анализ временных рядов позволяет отслеживать изменения параметров работы механизмов.

С помощью предложенных технологий внедрения ИИ, можно создавать интеллектуальные системы управления способные принимать решения в режиме реального времени, имитируя «интеллект» человека, улучшая тем самым эксплуатационные характеристики оборудования и, например снижать риск возникновения аварий или позднего срабатывания системы отвечающей за безопасность.

Практическое применение интеллектуальных системы в машиностроении. Практическое использование больших данных и ИИ в управлении техническими объектами [3,4] можно разделить на следующие ключевые направления:

1. Мониторинг и прогнозирование отказов. Системы IoT собирают данные о температуре, вибрации, давлении и других параметрах оборудования. Эти данные анализируются с помощью моделей машинного обучения, которые выявляют аномалии и предсказывают возможные поломки. Такие интеллектуальные системы значительно снижают количество незапланированных простоев [6].

2. Оптимизация логистики и транспортировки. Машиностроительные предприятия активно внедряют интеллектуальные логистические системы, основанные на анализе больших данных. Алгоритмы ИИ рассчитывают оптимальные маршруты, учитывают погодные условия и дорожную обстановку, а также минимизируют расход топлива и время доставки. Например, компания ПЭК внедрила интеллектуальную систему управления перевозками на основе больших данных, что позволило сократить холостые пробеги на 15% и снизить расход топлива.

3. Управление ресурсами энергоэффективностью в энергетике. В нефтегазовой отрасли, относящейся в энергетике, Датчики трубопроводов и электросетей(часто системы датчиков) передают данные в облако, где ИИ анализирует их и выявляет места коррозии, утечки или перегрузки. Это снижает риск аварий и экологического ущерба.

4. Интеллектуальное сельскохозяйственное оборудование. Современные машины в сельском хозяйстве (комбайны, тракторы и т. д.) оснащены сенсорами, спутниковыми системами и ИИ-алгоритмами, которые оптимизируют полив, внесение удобрений и планирование уборки урожая, кроме того, такие машины часто оборудована системами безопасности, которые защищают человека от случайного наезда или удара элементами конструкции этих машин.

Сравнительный анализ применения больших данных в различных отраслях совместно с ИИ. В таблице ниже представлены ключевые примеры использования больших данных, технологии и достигаемые результаты.

Таблица 1 – Сравнительный анализ применение больших данных и ИИ в различных отраслях за период 2019-2024 гг[5-6].

Отрасль	Технологии	Применение	Эффект
Логистика	Hadoop, Spark, IoT, ИИ	Оптимизация маршрутов, мониторинг транспорта	Снижение затрат на топливо на 10–15%, сокращение времени доставки на 20% (на примере ПЭК)

Отрасль	Технологии	Применение	Эффект
Нефтегазовая	NoSQL, ML, датчики давления	Контроль трубопроводов, прогнозирование утечек	Уменьшение аварийности на 25%, снижение затрат на ремонт (ООО НПЦ «Геостра»)
Сельское хозяйство	Спутниковые данные, IoT, ИИ	Анализ почвы, оптимизация полива	Рост урожайности на 15–20%, экономия воды до 30%
Авиация	Spark, предиктивная аналитика, ИИ	Мониторинг состояния двигателей	Сокращение незапланированных ремонтов на 30%
Энергетика	Data Lakes, ML, ИИ	Прогнозирование нагрузки на сеть	Оптимизация генерации, снижение потерь энергии на 10–12%

Заключение Внедрение технологий больших данных и искусственного интеллекта в управление техническими объектами уже показало значительный экономический эффект. Интеллектуальные системы позволяют: снижать затраты на обслуживание за счёт предиктивной аналитики, оптимизировать логистику и производственные процессы, повышать уровень безопасности благодаря раннему обнаружению угроз.

Дальнейшее развитие связано с углублённой интеграцией искусственного интеллекта и интернета вещей (IoT), что позволит создавать полностью автоматизированные и самообучающиеся производственные комплексы нового поколения — умные фабрики (Smart Factories).

Библиографический список

1. Использование больших данных в оценке экономического потенциала организаций / Н. Г. Синяк, А. Каклаускас, Д. В. Зинькина, А. Хабиб, Н. Шариф, А. В. Бондаренко // КиберЛенинка. — 2015. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-bolshih-dannyh-v-otsenke-ekonomicheskogo-potentsiala-organizatsiy> (дата обращения: 10.04.2025).

2. Что такое большие данные? / Определение, принцип работы и использования // SAP. — URL: <https://www.sap.com/central-asia-caucasus/products/technology-platform/what-is-big-data.html> (дата обращения: 10.04.2025).

3. Технология Big Data: что это такое // UISCOM. — URL: <https://www.uiscom.ru/blog/tekhnologiya-big-data-chto-eto-takoe> (дата обращения: 10.04.2025).

4. Big Data - что это такое и как происходит анализ и обработка больших данных // Неирос. — URL: <https://neiros.ru/blog/analytics/big-data-tekhnologiya-budushchego-i-16-napravleniy-ee-ispolzovaniya> (дата обращения: 10.04.2025).

5. Betz, W. (2022). Data-Driven Predictive Maintenance for Gas Distribution Networks. ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering, 8(2). <https://doi.org/10.1061/ajrua6.0001237>

6. Zeeshan, Q. (2023). Applications of Machine Learning in Aircraft Maintenance. 2(1), 76–95. <https://doi.org/10.56578/jemse020105>

Секция – Интеграция БЛА в авиационное и сельскохозяйственное пространство.

*Зотов А.А., Булгаков А.Г.
Южно-Российский государственный политехнический
университет (НПИ) имени М.И. Платова*

ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЙ БЛА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ НОР МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДЬЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Аннотация. В статье представлен обзор различных методов идентификации нор мышевидных грызунов. Рассматриваются способы получения изображений с помощью БЛА и их обработки и обучения с использованием методов искусственного интеллекта. Представлен метод выделения визуальных признаков крысиных нор, основанный на технологии гиперспектральной аэрофотосъемки с использованием БЛА.

Ключевые слова: идентификация нор, мышевидные грызуны, искусственный интеллект, БЛА, аэрофотосъемка, гиперспектральная камера, нейросети, защита растений, нормализованный вегетационный индекс.

*Zotov A.A., Bulgakov A.G.
South-Russian State Technical University (NPI) of the M.I. Platov*

AN OVERVIEW OF THE USE OF UAV TO IDENTIFY MOUSE- LIKE RODENT BURROWS ON AGRICULTURAL LAND USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Abstract. The article provides an overview of various methods for identifying burrows of mouse-like rodents. The methods of obtaining images using UAVs and their processing and training using artificial intelligence methods are considered. A method for identifying visual signs of rat holes based on the technology of hyperspectral aerial photography using UAVS is presented.

Keywords: identification of burrows, mouse-like rodents, artificial intelligence, UAV, aerial photography, hyperspectral camera, neural networks, plant protection, NDVI.

В осенне-зимний и ранневесенний периоды грызуны повреждают зеленые растения озимых культур и многолетних трав, наносят ощутимый вред в молодых садах, обгрызая кору штамбов [1].

Данная проблема не только снижает урожайность выращиваемых сельскохозяйственных культур, но и увеличивает риск возникновения

вспышек заболеваний, опасных для человека, для которых грызуны являются промежуточными носителями. Поэтому эффективный мониторинг и борьба с нашествиями мышевидных грызунов являются жизненно важными для защиты окружающей среды и обеспечения достижения целей устойчивого развития в регионе.

Важной составляющей компонентой в борьбе с мышевидными грызунами является быстрое и точное определение географических координат их нор. Это позволяет осуществлять динамический мониторинг численности и распределения нор грызунов практически в режиме реального времени, что позволяет оперативно реагировать на любые изменения и предотвращать их дальнейшее распространение.

Производительность БЛА-метода диагностики выше наземного в 24 раза [2]. Развитие технологии дистанционного зондирования с использованием беспилотных летательных аппаратов открывает новые горизонты в мониторинге ущерба, наносимого грызунами сельскохозяйственным угодьям. Эта технология позволяет быстро и точно оценивать зараженность, а также выявлять и количественно определять мышиные норы.

Изображения, полученные с помощью аэрофотосъемки, в сочетании с обработкой их с использованием алгоритмов методами глубокого обучения показали высокую эффективность при обнаружении нор грызунов.

Представляют интерес исследования, в которых были объединены данные с небольших участков дистанционного зондирования, полученные с помощью БЛА, и данные о среднегодовой температуре с 1982 по 2015 год с информацией спутниковых снимков для оценки нормализованного вегетационного индекса (NDVI), рельефа, и др. [3]. После обработки этих данных помощью Байесовской сети была установлена положительная корреляция между плотностью нор мышевидных грызунов на высоте до 600 м над уровнем моря и интенсивностью выпаса овец в данной местности.

Интересны для рассмотрения результаты исследований с применением БЛА типа DJI Matrice 600 Pro с размещенной на нем гиперспектральной камерой GaiaSky-mini для сканирования поля в спектральном диапазоне 400-1000 нм и спектральным изображением 3,5 нм [4]. Высота полета составляла 30 м, а пространственное разрешение - 2,3 см². Собранные данные были обработаны с помощью фильтра Савицкого-Голея, что позволило уменьшить Гауссовский шум. Из гиперспектральных снимков была извлечена полезная информация с помощью анализа главных компонент (PCA – principal component analysis) путем уменьшения размерности данных. Это позволило выделить необходимые спектральные характеристики нор грызунов. В результате исследования точность классификации нор грызунов составила 97%.

В исследовании [5] использовали БЛА DJI M300 RTK и камеру P1 для сбора изображений в видимом спектре степи в регионе Внутренней

Монголии в Китае в весенний период, и применяли различные алгоритмы обнаружения объектов для определения нор полёвки Брандта (*Lasiopodomys brandtii*) (рисунок). Опытным путем было установлено, что для камеры оптимальной высотой полета является 30 м.

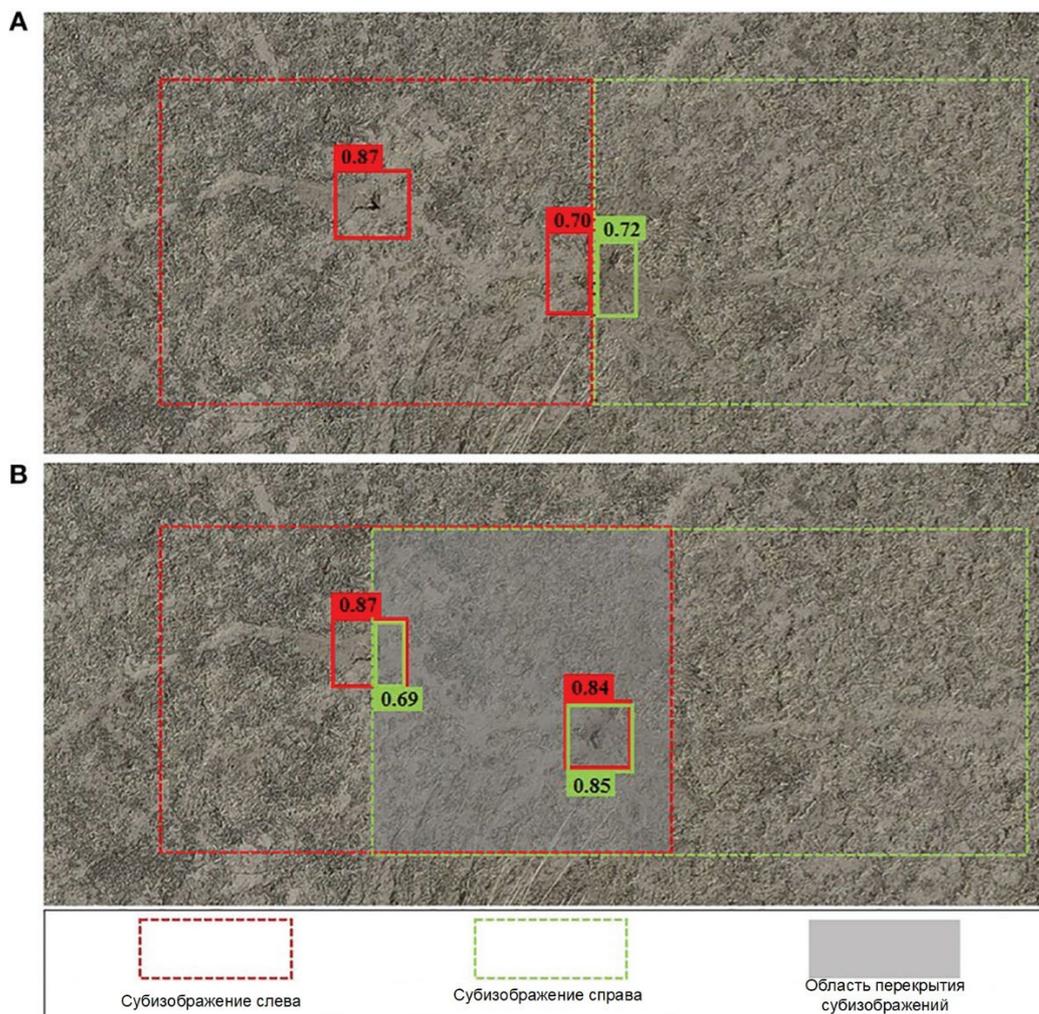


Рисунок Проблема повторного подсчета: (А) нет области перекрытия, (В) с областью перекрытия [5].

Чтобы определить наиболее эффективный подход к исследованию нор полёвок, было проведено сравнение нескольких алгоритмов глубокого обучения: FCOS (Fully Convolutional One-Stage Object Detection), Faster-rcnn, SSD и пять вариантов серии YOLO. Наилучшие показатели точности mAP 95,19% удалось достичь при обучении алгоритма FCOS. Следует отметить, что использовался новый метод маркировки, позволяющий увеличить точность распознавания. При стандартном же подходе используется прямоугольная рамка с небольшим количеством пикселей вокруг объекта, затрудняющая распознавание нор полевок в условиях наличия отвлекающих факторов, таких как крупные камни или экскременты животных.

Было также выявлено, что в окрестности нор присутствуют мышинные тропы, которые сами по себе являются маркером заражения поля грызунами. Расширив диапазон ячеек для маркировки, удалось значительно повысить точность распознавания.

Заключение

Обнаружение нор грызунов на сельскохозяйственных угодьях имеет важное значение для понимания экологической динамики и контроля ущерба, наносимого урожаю этими мелкими млекопитающими. Благодаря современным технологиям беспилотных летательных аппаратов стало возможным получение изображений полей с высоким разрешением, что представляет собой перспективную платформу для обнаружения нор грызунов.

Интеграция технологии БЛА-метода и обработки изображений на основе машинного обучения обладает значительным потенциалом для эффективного мониторинга нор грызунов на сельскохозяйственных угодьях, что в итоге позволяет разрабатывать более эффективные стратегии управления для снижения ущерба урожаю и внедрения устойчивых методов ведения сельского хозяйства.

Библиографический список

1. Минько М. В., Хилевский В. А. Мышевидные грызуны в Ростовской области // Защита растений от вредных организмов. – 2023. – С. 263-265.
2. Яковлев, А. А. Особенности защиты растений от грызунов в условиях новых технологий / А. А. Яковлев // Защита и карантин растений. – 2018. – № 8. – С. 31-32. – EDN XWBLID.
3. Shi H. et al. Analysis of the impacts of environmental factors on rat hole density in the Northern Slope of the Tianshan Mountains with satellite remote sensing data // Remote Sensing. – 2021. – Т. 13. – №. 22. – С. 4709.
4. Gao X., Bi Y., Du J. Identification of Ratholes in Desert Steppe Based on UAV Hyperspectral Remote Sensing // Applied Sciences. – 2023. – Т. 13. – №. 12. – С. 7057.
5. Wu W. et al. Brandt's vole hole detection and counting method based on deep learning and unmanned aircraft system // Frontiers in Plant Science. – 2024. – Т. 15. – С. 1290845.
6. Рекомендации по борьбе с грызунами Режим доступа: <https://glavagronom.ru/articles/Zubastaya-napast-sovremennaya-strategiya-borby-s-polevymi-gryzunami> (дата обращения: 21.03.2025)
7. Коптеры против мышей Режим доступа: <https://agri-news.ru/zhurnal/2018/32018/kopteryi-protiv-myishej/> (дата обращения: 01.03.2025)

*Соловьев В.В., Бондаренко Н.Ю., Филатов Р.К.
КБ АРК ПИ (филиал) ДГТУ,
г. Таганрог, Россия*

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ ДРОНОМ

Аннотация. В работе представлена процедура построения автоматной модели управления сельскохозяйственным дроном для разбрасывания семян. Выделены возможные состояния дрона и условия перехода из состояний в состояния. Учтены варианты возникновения ошибок из-за внешних и внутренних факторов функционирования дрона.

Ключевые слова: автоматная модель, сельскохозяйственный дрон, состояния дрона, условия перехода.

*Soloviev V.V., Bondarenko N.Yu., Filatov R.K.
Design Bureau ARK PI (branch) of DSTU,
Taganrog, Russia*

THE CONCEPT OF BUILDING AN AUTOMATED CONTROL MODEL FOR AN AGRICULTURAL DRONE

Annotation. The paper presents a procedure for constructing an automated control model for an agricultural drone for seed scattering. The possible states of the drone and the conditions of transition from states to states are highlighted. Possible errors due to external and internal factors of the drone's operation have been taken into account.

Keywords: automatic model, agricultural drone, drone conditions, transition conditions.

На сегодняшний день сельскохозяйственная робототехника развивается бурными темпами [1, 2]. Получают распространение беспилотные комбайны и сельскохозяйственные дроны. Дроны используются для оценки урожая, мониторинга посадок, опрыскивания растений, разбрасывания семян и т.п. В этом качестве хорошо себя зарекомендовали мультироторные летательные аппараты, способные перемещать 50 и более килограмм полезной нагрузки. Применение дронов в сельском хозяйстве обусловлено высокой скоростью обработки посевных площадей, низким уровнем эксплуатационных затрат и высокой точностью внесения гербицидов, удобрений и семян.

На рынке представлено большое количество дронов сельскохозяйственного назначения в основном от китайских производителей. В условиях импортозамещения требуется разработка

непосредственно летательных аппаратов и программного обеспечения, которые будут обеспечивать надежное и эффективное применение дронов.

В структуре программного обеспечения дрона можно выделить программу для наземной станции управления, в которой строится полетное задание и программу для полетного контроллера непосредственно в бортовом вычислителе дрона. Наиболее эффективным способом разработки программного обеспечения для полетного контроллера является автоматный подход, предполагающий выделение возможных состояний объекта управления и условий перехода между состояниями.

Для сельскохозяйственного дрона можно выделить следующий перечень возможных состояний S :

- S_1 – самотестирование подсистем дрона;
- S_2 – отправка пакета данных на наземную станцию;
- S_3 – получение полетного задания от наземной станции управления;
- S_4 – режим взлета;
- S_{41} – включение двигателей;
- S_{42} – взлет на высоту h_6 ;
- S_{43} – стабилизация в точке;
- S_5 – движение по маршруту;
- S_{51} – выбор i -й траектории полета или команды полетного задания;
- S_{52} – полет в одной плоскости по прямой;
- S_{53} – контроль высоты полета при посеве;
- S_{54} – включение разбрасывателя;
- S_{55} – выключение разбрасывателя;
- S_{56} – поворот налево в одной плоскости;
- S_{57} – поворот направо в одной плоскости;
- S_6 – режим посадки;
- S_{61} – снижение до высоты h_n ;
- S_{62} – отключение двигателей;
- S_7 – контроль подсистем дрона;
- S_{71} – контроль уровня заряда аккумулятора;
- S_{72} – контроль уровня семян в баке;
- S_{73} – контроль связи с наземной станцией управления;
- S_{74} – контроль навигационных датчиков;
- S_8 – ошибка.

В предложенном перечне можно выделить несколько составных состояний, связанных с режимом взлета, движения по маршруту, режимом посадки и контролем подсистем дрона. Составные состояния можно реализовать в общей автоматной модели или в виде иерархии в подмоделях управления. В соответствии с перечнем возможных состояний разработана схема автоматной модели, предложенная на рисунке 1.

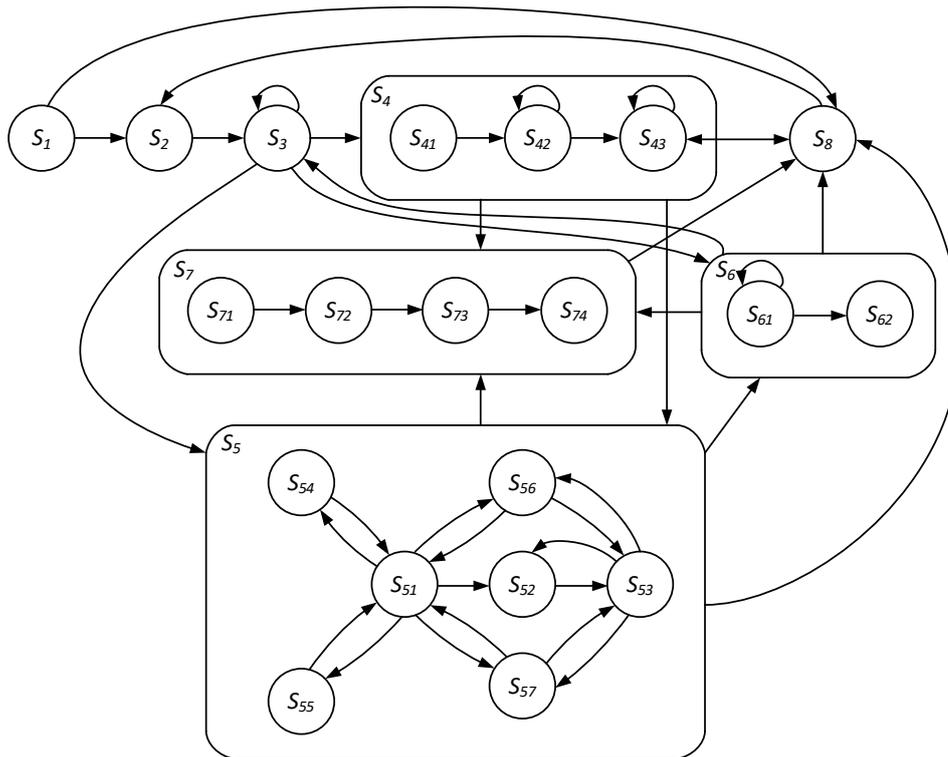


Рисунок 1 – Схема автоматной модели управления дроном.

На схеме стрелки переходов в составные состояния указывают на переход в подсостояния с наименьшим индексом. Например, из состояния S_4 переход в S_5 , означает переход в подсостояние S_{51} .

Переход из состояния в состояние определяется следующими условиями:

$E(S_1 \rightarrow S_2)$: самотестирование подсистем дрона выполнено успешно;

$E(S_1 \rightarrow S_8)$: самотестирование подсистем дрона выполнено с ошибками;

$E(S_2 \rightarrow S_3)$: пакет данных отправлен на наземную станцию;

$E(S_3 \rightarrow S_4)$: получено полетное задание и дрон размещался на земле;

$E(S_3 \rightarrow S_5)$: получено полетное задание на разбрасывание и дрон был в воздухе;

$E(S_3 \rightarrow S_6)$: получено полетное задание на посадку и дрон был в воздухе;

$E(S_{41} \rightarrow S_{42})$: двигатели дрона включились;

$E(S_{42} \rightarrow S_{43})$: дрон взлетел на высоту h_6 ;

$E(S_{43} \rightarrow S_{51})$: дрон стабилизировался в точке;

$E(S_{51} \rightarrow S_{52})$: выбрана траектория полета в одной плоскости по прямой;

$E(S_{51} \rightarrow S_{54})$: выбрана команда на включение разбрасывателя;

$E(S_{51} \rightarrow S_{55})$: выбрана команда на выключение разбрасывателя;

$E(S_{51} \rightarrow S_{56})$: выбрана траектория поворота налево в одной плоскости;

$E(S_{51} \rightarrow S_{57})$: выбрана траектория поворота направо в одной плоскости;

$E(S_{52} \rightarrow S_{53})$: требуется контроль высоты полета по прямой;

$E(S_{53} \rightarrow S_{52})$: выполнен контроль высоты полета по прямой;

$E(S_{53} \rightarrow S_{56})$: выполнен контроль высоты полета при повороте налево;

$E(S_{53} \rightarrow S_{57})$: выполнен контроль высоты полета при повороте направо;

$E(S_{54} \rightarrow S_{51})$: разбрасыватель включен;

$E(S_{55} \rightarrow S_{51})$: разбрасыватель выключен;

$E(S_{56} \rightarrow S_{51})$: поворот налево в одной плоскости завершен;

$E(S_{57} \rightarrow S_{51})$: поворот направо в одной плоскости завершен;

$E(S_{51} \rightarrow S_{61})$: выбрана команда на посадку;

$E(S_{61} \rightarrow S_{62})$: дрон снизился до высоты h_n ;

$E(S_{62} \rightarrow S_3)$: двигатели дрона отключены;

$E(S_{7i} \rightarrow S_{7j})$: контроль i -й подсистемы выполнен успешно;

$E(S_k \rightarrow S_8)$: возникла ошибка в k -й подсистеме;

$E(S_8 \rightarrow S_2)$: подготовлен пакет данных об ошибках;

Предложенный перечень переходов обеспечивает переход из состояний в состояния в автоматной модели и контроль возникающих ошибок.

Показанная концепция разработки автоматной модели может использоваться для решения задач контроля и управления в различных технических объектах. В части управления дроном сельскохозяйственного назначения она легко может быть адаптирована для решения других задач (распыление, мониторинг земель, контроль урожаев) и расширена для случаев использования нескольких дронов при обработке одного и того же участка.

Библиографический список

1. Соловьев, В. В. Системный анализ наземной роботизированной платформы сельскохозяйственного назначения / В. В. Соловьев, А. Я. Номерчук, Р. К. Филатов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2024. – № 2(238). – с. 69-82. – DOI 10.18522/2311-3103-2024-2-69-82.

2. Перспективы развития сельскохозяйственной робототехники в условиях импортозамещения / В. В. Соловьев, В. В. Шадрина, А. Я. Номерчук, Р. К. Филатов // Исследования и творческие проекты для развития и освоения проблемных и прибрежно-шельфовых зон юга России: Сборник трудов XIII Всероссийской Школы-семинара, молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников, Геленджик, 18–20 мая 2022 года. – Ростов-на-Дону – Таганрог: Южный федеральный университет, 2022. – С. 27-34.

*Соловьев В.В., Ганцевский А.В., Филатов Р.К.
КБ АРК ПИ (филиал) ДГТУ,
г. Таганрог, Россия*

РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ ДРОНОМ

Аннотация. В работе представлен вариант реализации автоматной модели управления сельскохозяйственным дроном для разбрасывания семян. Рассмотрены возможности ее реализации на классах, массивах и функциях. Предложен вариант реализации составных состояний с использованием вложенных функций.

Ключевые слова: автоматная модель, сельскохозяйственный дрон, состояния дрона, условия перехода, реализация автоматной модели.

*Soloviev V.V., Gantsievsky A.V., Filatov R.K.
Design Bureau ARK PI (branch) of DSTU,
Taganrog, Russia*

IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED AGRICULTURAL DRONE CONTROL MODEL

Annotation. The paper presents a variant of the implementation of an automatic agricultural drone control model for seed scattering. The possibilities of its implementation on classes, arrays, and functions are considered. A variant of the implementation of composite states using nested functions is proposed.

Keywords: automatic model, agricultural drone, drone conditions, transition conditions, implementation of the automatic model

Автоматная модель технической системы определяет набор возможных состояний, в которых может находиться объект управления и условий перехода из состояния в состояние для его функционирования по назначению [1]. В структуре автоматной модели для сельскохозяйственного дрона можно выделить не менее двадцати состояний, некоторые из которых объединяются в составные состояния.

Автоматная модель изначально представляется в текстовом виде, где описываются возможные состояния и условия перехода из состояния в состояние. Также модель может сопровождаться схемой или графом, иллюстрирующим связи между состояниями, или таблицей сочетаний состояний и условий перехода между ними.

Следующим этапом реализации автоматной модели является ее программирование для применения в бортовом вычислителе дрона.

Существуют несколько способов реализации автоматных моделей в языках программирования:

- модель описывается классом, с методами соответствующими состояниям объекта управления и вся «механика» модели реализуется внутри класса;

- модель описывается в виде совокупности функций, определяющих состояния, а переключения между ними реализуются условными переходами if-else или switch-case;

- модель описывается двумерным массивом, который на каждой итерации программы проверяется на предмет выбора следующего активного состояния.

Рассмотрим вариант реализации автоматной модели для сельскохозяйственного дрона с использованием совокупности функций. В этом случае для каждого состояния можно создать функцию имя которой начинается с номера состояния в модели. Например, для состояния S_1 – «Самотестирование подсистем дрона», можно создать функцию с названием `s1_self_testing`, которая будет возвращать значение типа Integer. Возвращаемое значение определяет в какое состояние перейдет автомат.

В этом случае, в основном цикле программы организуется блок switch-case, в котором выполняется проверка текущего состояния в переменной `state`, как представлено на примере ниже:

```
switch (state)
{
    case 1:
        state = s1_self_testing();
        break;
    case 2:
        state = s2_send_package();
        break;
    ...
}
```

Таким образом, основной цикл программы управления дроном строго формализован и не загроможден излишним кодом.

При реализации составных состояний вложенные функции подсостояний могут возвращать значение типа Boolean, которое является индикатором успешности реализации действий в каждом подсостоянии, как представлено на примере ниже:

```
int s7_subsystem_control ()
{
    if (!s71_battery_control())
        return 8;
    if (!s72_tank_level_control())
        return 8;
```

```

    if (!s73_ground_station_control())
        return 8;
    if (!s74_navigation_control())
        return 8;
    return 5;
}

```

Как видно из представленного примера, проверка на ошибки при такой реализации выполняется автоматически. В случае ошибок, в какой-нибудь подсистеме дрона будет выполнен переход в состояние S_8 – «Ошибка», которое будет обрабатываться в основном цикле программы.

В заключении рассмотрим пример обработки составного состояния, у которого есть сложные переходы между подсостояниями. В системе управления дроном это состояние анализа полетного задания и реализации действий в части полета по прямой линии, поддержании высоты, поворотов дрона и включения или выключения полезной нагрузки:

```

int s5_route_fly()
{
    int route = s51_check_route();
    switch (route)
        case 1:
            if (!s52_line_fly())
                return 8;
            else
                return 5;
        case 1:
            if (!s54_spreading_on())
                return 8;
            else
                return 5;
        ...
    }
}

```

Как видно из представленного примера, сложные составные состояния могут обрабатываться аналогично структуре автоматной модели в основном цикле программы.

Следует отметить, что в системе управления дроном переключение между состояниями может осуществляться также в прерываниях и по таймеру. Например, полетное задание от наземной станции управления может быть изменено в любой момент времени и, следовательно, в обработчике событий должна быть изменена значение в переменной state, чтобы переключить автомат в корректное состояние.

Библиографический список

1. Соловьев, В. В. Автоматная модель круиз-контроля для автомобиля / В. В. Соловьев, А. Я. Номерчук // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2023. – № 3(233). – С. 172-188. – DOI 10.18522/2311-3103-2023-3-172-188.

*Гармаш Д.А.
ИРТСУ ЮФУ
г. Таганрог, Россия*

ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЕ ПРОТОКОЛЫ СВЯЗИ В СИСТЕМАХ БПЛА

Аннотация. Анализ технологий беспроводной связи для БПЛА при работе в условиях электромагнитных помех и ограниченного покрытия. Сравнение протоколов IEEE 802.11s, LTE-M и LoRaWAN с точки зрения помехоустойчивости, дальности и пропускной способности. Отдельное внимание уделено применению в агросекторе, где стабильность связи критична для координации с техникой и обработки данных от сенсоров. Изучение перспектив использования гибридных сетей и алгоритмов машинного обучения для повышения надежности.

Ключевые слова: БПЛА, беспроводная связь, протоколы, помехи, устойчивая связь

*Garmash D.A.
IRTSU SFEDU
г. Таганрог, Россия*

NOISE-RESISTANT COMMUNICATION PROTOCOLS IN UAV SYSTEMS

Abstract. Wireless communication technologies for UAVs are analyzed when operating under electromagnetic interference and limited coverage conditions. IEEE 802.11s, LTE-M and LoRaWAN protocols are compared in terms of noise immunity, range and throughput. Special attention is given to applications in the agro-sector, where link stability is critical for coordination with machinery and sensor data processing. The prospects of using hybrid networks and machine learning algorithms to improve reliability are explored.

Keywords: UAVs, wireless communication, protocols, interference, stable communication.

Интеграция беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в авиационное и сельскохозяйственное пространство требует надежной передачи данных в условиях внешних помех, таких как электромагнитные интерференции, погодные факторы и перегрузка частотных каналов. Особую актуальность эта проблема приобретает в сельскохозяйственных операциях, где БПЛА используются для мониторинга полей, обработки данных IoT-сенсоров и координации с наземной техникой. До 40% сбоев в работе дронов связаны с потерей сигнала из-за помех в диапазонах 2.4 ГГц

и 5.8 ГГц, что критично для задач точного земледелия и управления воздушным трафиком [1].

Основой решения являются помехоустойчивые протоколы связи, комбинирующие методы адаптивной модуляции (QAM, OFDM), MIMO-технологии и алгоритмы динамического переключения каналов. Например, стандарт IEEE 802.11s для mesh-сетей обеспечивает ретрансляцию данных через соседние узлы, снижая зависимость от прямого соединения с базовой станцией [2,3]. В таблице представлено сравнение ключевых параметров популярных протоколов, используемых в БПЛА.

Таблица – Характеристики протоколов связи

Протокол	Диапазон (ГГц)	Макс. скорость (Мбит/с)	Устойчивость к помехам	Применение в БПЛА
IEEE 802.11s	2.4/5	300	Высокая (mesh-ретрансляция)	Сельхозмониторинг
LTE-M	0.7–2.1	1–10	Средняя (зависит от покрытия)	Координация флотилий
LoRaWAN[4]	0.868/0.915	0.3–50 кбит/с	Низкая (узкополосный сигнал)	Датчики IoT

Проведенные эксперименты демонстрируют, что гибридные системы, сочетающие IEEE 802.11s и алгоритмы Cognitive Radio, повышают надежность связи на 35% в зонах с высокой плотностью радиочастотных помех [5]. Для сельского хозяйства это особенно важно при работе вблизи метеостанций или промышленного оборудования, генерирующего помехи. Однако ограничения остаются: например, протоколы с высокой помехоустойчивостью, такие как DASH7 (используется в военных БПЛА), требуют специализированного оборудования, что увеличивает стоимость коммерческих решений.

Будущие направления исследований включают использование методов машинного обучения для прогнозирования помех и оптимизации каналов связи, а также развитие более устойчивых протоколов, совместимых с мобильными и IoT-сетями.

Надёжная и устойчивая связь для БПЛА в аграрных условиях требует баланса между энергоэффективностью, стоимостью и возможностью масштабируемого внедрения. Комбинация mesh-сетей, когнитивного радио и интеллектуального управления спектром позволяет значительно повысить надёжность передачи данных, обеспечивая стабильную работу БЛА даже в условиях радиопомех.

Библиографический список

1. Mehram Behjati, Rosdiadee Nordin Mobile Network Performance and Technical Feasibility of LTE-Powered Unmanned Aerial Vehicle. – 2021.
2. Заргарян Ю.А., Заргарян Е.В. Современные технологии беспроводных сетей // – Ростов-на-Дону : ДиректСайнс, 2023. – 135 с.
3. Гармаш Д.А., Ким Д.С., Щербатов Ф.А., Соловьев В.В. Mesh-сеть интеллектуальных датчиков // Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и акустика : Сборник трудов XI Всероссийской научной конференции и молодежного научного форума, Геленджик, 2022. – С. 109-112.
4. Гармаш, Д.А., Ким Д.С., Соловьев В.В. Исследование беспроводной технологии LoRaWAN на открытой // Исследования и творческие проекты для развития и освоения проблемных и прибрежно-шельфовых зон юга России : сборник трудов XIV Всероссийской Школы-семинара, молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников, Геленджик, 2023. – С. 224-226.
5. Liping Shi, Nestor J. Hernandez Marcano, Rune Hylsberg Jacobsen A review on communication protocols for autonomous unmanned aerial vehicles for inspection application, – 2021.

Научное издание

Материалы

IX Всероссийской научно-практической конференции с международным
участием («ISAM' 2025»)

(Таганрог, 11 апреля 2025 г.)

ISBN 978-5-6054415-0-2

Редактирование осуществлено авторами

В печать 25.06.2025.
Объём 3,89 усл. п.л. Формат 60x84/16.
Тираж 50 экз. Цена свободная.

Издательство
ДиректСайнс
[ИП Шкуркин Дмитрий Владимирович]

Отпечатано в ООО «КАдСис»
347910, Ростовская область, г. Таганрог, ул. Котлостроительная, 13Ак3, 155



34567890D48E1563QWED451316GDSWE#T4789%2T56G4526544DFT616545
451316GDSWE#T4789%2T56G45
67890D48E1563Q

ISBN 978-5-6054415-0-2



9 785605 441502 >