

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Г.Ф. МОРОЗОВА»

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ,
РОБОТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ,
ОРГАНИЗАЦИОННЫХ, ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Материалы Всероссийской научно-практической конференции преподавателей
и специалистов
и Всероссийской научно-практической конференции студентов
и молодых ученых

Воронеж, 27 марта и 8 апреля 2025 г.

Воронеж 2025

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION
FEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL INSTITUTION
OF HIGHER EDUCATION
«VORONEZH STATE UNIVERSITY OF FORESTRY AND TECHNOLOGIES
NAMED AFTER G.F. MOROZOV»

ACTUAL ISSUES OF AUTOMATION, ROBOTICS
AND MANAGEMENT IN TECHNICAL, ORGANIZATIONAL,
ECONOMIC SYSTEMS

Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Lecturers
and Specialists and the All-Russian Scientific and Practical Conference of Students
and Young Scientists

Voronezh, March 27 and April 8, 2025

Voronezh 2025

УДК 681.5+001.895

А43

А43 Актуальные проблемы автоматизации, роботизации и управления в технических, организационных, экономических системах : материалы Всероссийской научно-практической конференции преподавателей и специалистов и Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Воронеж, 27 марта и 8 апреля 2025 г. / отв. ред. С. А. Евдокимова ; М-во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2025. – 377 с. – URL: <https://vgltu.ru/nauka/konferencii/2025/vserossijskaya-nauchno-prakticheskaya-konferenciya-prepodavatelej-i-specialistov/>. – Текст : электронный.

ISBN 978-5-7994-1169-5

В сборнике представлены материалы Всероссийской научно-практической конференции преподавателей и специалистов, а также Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы автоматизации, роботизации и управления в технических, организационных, экономических системах», прошедших в г. Воронеже 27 марта и 8 апреля 2025 года.

Материалы конференций предназначены для специалистов в области автоматизации производственных процессов, научных сотрудников, аспирантов и студентов вузов.

УДК 681.5+001.895

ISBN 978-5-7994-1169-5

© ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. Современные системы автоматического и автоматизированного контроля и управления в производственных процессах

Афоничев Д.Н., Аксенов И.И., Еремин М.Ю. Математическая модель системы автоматического управления электродвигателем постоянного тока в программе SimInTech	7
Афоничев Д.Н., Васильев В.В. Комбинированный транспортный беспилотный летательный аппарат	13
Богданов И.В., Мещерякова А.А. Разработка системы управления движением роботизированных машин в городских условиях	21
Боровинский Д.Д., Стариков А.В. Классификация внутритрубных роботов-дефектоскопов.....	26
Васильев В.В., Афоничев Д.Н. Оценка осадки плоских сплоченных единиц в программе автоматизированного планирования сплава древесины	40
Грачева А.О., Грибанов А.А., Мещерякова А.А. Исследование и разработка автоматизированной системы управления микроклиматом в хранилищах сельскохозяйственной продукции	50
Грибанов А.А., Лаврик А.А., Мещерякова А.А. Оценка эффективности системы автоматизации котельной установки промышленного предприятия	55
Евдокимова С.А. Проблемы безопасности промышленного интернета вещей..	62
Евдокимова С.А., Новикова Т.П. Киберфизические системы: состав и основные области применения	69
Евдокимова С.А., Новикова Т.П., Исмаилов Д.М. Функциональная модель технологического процесса розлива вина в нотации BPMN.....	78
Елизаров П.В., Щербакова И.В. Развертывание сервера приложений по технологии контейнеризации.....	85
Иванов Е.К., Мещерякова А.А. Автоматизация шиномонтажного участка	90
Исмаилов Э.Б., Стариков А.В. Автоматизация управления микроклиматом в промышленных теплицах	94
Кишкань П.В., Мещерякова А.А. Синхронизация схемы модуля обвязки скважин в АСУ ЖЦИ с точной копией электронного макета изделия.....	107

Ключников Е.А., Щербакова И.В. Автоматизация системы регулирования температуры в автоклаве	112
Ковун Д.А., Стариков А.В. Исследование методов и средств для автоматизированной системы экологического мониторинга атмосферного воздуха.....	118
Копёнкин К.Н., Евдокимова С.А. Сравнение систем автоматизированного проектирования ADEM и КОМПАС 3D	124
Копёнкин К.Н., Карелин А.Н. Моделирование элементов мехатронного модуля	130
Кудинков А.В., Лапшина М.Л. Особенности технического оснащения системы автоматического управления приточно-вытяжной вентиляции	135
Кузнецов К.Д., Мещерякова А.А. Комплексная автоматизация технологических операций роботизированных погрузчиков на предприятиях.....	141
Курипта Г.Р., Лепешкин В.И. Электролизные установки для гипохлорита натрия(NAOCL): обзор технологий, устройство, принцип работы	148
Лободин А.Ю., Поляков С.И. Система управления обжигом керамической плитки в туннельной печи	156
Локтионов А.С., Карелин А.Н. Обзор гуманоидных роботов и их применение	163
Локтионов А.С., Стариков А.В. Обзор функциональных возможностей и особенностей конструкции роботов для складской логистики	173
Лучинский М.В., Стариков А.В. Применение рентген-сканирования и биометрической идентификации древесины для сквозного контроля сырья в лесопильном производстве.....	183
Мещеряков С.Ю., Мещерякова А.А. Разработка автоматизированной системы управления производством асфальтобетонной смеси	203
Мещерякова А.А. Разработка математической модели оптимизации распределения пиловочного сырья между различными типами оборудования лесопильного производства	210
Михайлов А.М., Евдокимова С.А. Real-time обработка видео: сравнительный анализ архитектур YOLO и SSD	217
Михайлов А.М., Щербакова И.В. Методы оценки причинно-следственных эффектов на основе машинного обучения	224

Мравеш Н.И., Поляков С.И. Автоматизированная система позиционирования шоколадных прямоугольных конфет перед упаковкой.....	232
Мустафаев Э.Н., Поляков С.И. Автоматизация конвейерных линий на участке сортировки товаров	243
Никитин М.С., Лапшина М.Л. Реализация структурного моделирования в САПР, в рамках существующего технологического процесса.....	253
Никитина А.Д., Лапшина М.Л. Методологические подходы к вопросу автоматизации систем водоподготовки	257
Новиков А.И., Комаров А.А., Новикова Т.П., Чесноков Ю.В. О разработке методики детектирования VNIR-изображения приборами на стационарной базе для дистанционной оценки растительных и почвенных объектов	262
Новикова Т.П., Евдокимова С.А., Новиков А.И. Автоматизация управления сервисным центром по ремонту и обслуживанию машин и оборудования аграрного и лесного профилей.....	270
Новикова Т.П., Евдокимова С.А., Новиков А.И. О применении автоматизированных технологий управления в точном земледелии в условиях изменения климата	276
Новикова Т.П., Новиков А.И., Чесноков Ю.В. IoT-управление агротехнологиями: особенности построения реляционной модели хранения сенсорных данных на процессинговом уровне	282
Панкова А.А., Лапшина М.Л. Обзор основных методов идентификации динамических управляемых систем.....	291
Парфенов А.А., Лапшина М.Л. Разработка автоматизированной системы контроля и управления насосной станцией отвода дренажных вод	299
Поляков С.И. Комбинированное двухагрегатное весовое непрерывное дозирование сыпучих материалов	303
Сафонова Ю.А. Исследование моделей мониторинга качества образования...	310
Сафонова Ю.А. Оценка эффективности организации производственных процессов на основе IDEF3 моделирования.....	316
Студеникин П.В., Мещерякова А.А. Исследование и разработка инновационной автоматизированной системы управления процессом сушки паркетной фрезы в вакуумных камерах.....	323

Черныш Д.С., Мещерякова А.А. Анализ современных технологий обработки стекла и выявление их преимуществ и недостатков.....	329
Шестаков Д.В., Евдокимова С.А. Сравнительный анализ архитектур сверточных нейронных сетей.....	335

Секция 2.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Ещенко С.Е., Мещерякова А.А. Структура и управление манипуляционных систем технологических роботов при лазерной резке объектов	346
Кодацкая А.С., Грибанов А.А., Мещерякова А.А. Проектирование роботизированного комплекса для окраски крупногабаритных металлических конструкций	353
Пиляев В.С. Компьютерная модель гибридного трактора	359
Руднева М.С., Грибанов А.А., Мещерякова А.А. Исследование и разработка системы автоматизации процесса лазерной очистки металла	366
Рябова Д.В., Мазуха Н.А. Универсальный блок защиты электродвигателей....	372

СЕКЦИЯ 1.
СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ
В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

DOI: 10.58168/AIARMTOES2025_7-12

УДК 681.5(075)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА
В ПРОГРАММЕ SIMINTECH
MATHEMATICAL MODEL OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM
OF A DC ELECTRIC MOTOR IN THE SIMINTECH PROGRAM

Афоничев Д.Н., д.т.н., профессор

Аксенов И.И., к.т.н. доцент

Еремин М.Ю., к.т.н. доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет

имени императора Петра I»

г. Воронеж, Россия

dmafonichev@yandex.ru

Afonichev D.N., Doctor of Technical Sciences, Professor

Aksenov I.I., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Eremin M.Yu., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State Agrarian University

named after Emperor Peter the Great»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: Представлена математическая модель системы автоматического управления электродвигателем постоянного тока независимого возбуждения в программе SimInTech. Модель включает систему дифференциальных уравнений рабочего процесса электродвигателя и блок пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора, вырабатывающего управляющий сигнал. Модель может быть использована для исследования режимов работы электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения без регулятора и с регулятором угловой скорости.

Summary: A mathematical model of an automatic control system for a DC electric motor of independent excitation in the SimInTech program is presented. The model includes a system of differential equations for the operating process of an electric motor and a proportional-integral-differential regulator unit that generates a control signal. The model can be used to study the operating modes of a DC electric motor of independent excitation without a regulator and with an angular velocity regulator.

Ключевые слова: электродвигатель постоянного тока независимого возбуждения, угловая скорость, момент, ток якоря, управление, регулятор, математическая модель.

Keywords: electric motor of direct current of independent excitation, angular velocity, moment, armature current, control, regulator, mathematical model.

Электродвигатели постоянного тока независимого возбуждения используются для привода различных устройств и являются самыми массовыми электрическими машинами постоянного тока [1]. Поэтому разработка адекватных математических моделей систем автоматического управления такими электроприводами является актуальной задачей. Для построения математической модели системы автоматического регулирования угловой скорости ротора электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения в программе SimInTech запишем физические законы, определяющие рабочий процесс такого электродвигателя.

Второй закон Кирхгофа для силовой цепи якоря имеет вид [1, 2]

$$U = E + U_L + U_R, \quad (1)$$

где U – напряжение источника питания цепи якоря, В; E – электродвижущая сила (ЭДС) обмотки якоря, В; U_L – падение напряжения на индуктивности обмотки якоря, В; U_R – падение напряжения на активном сопротивлении цепи якоря, В.

$$E = CF\omega; U_L = L \frac{dI}{dt}; U_R = RI = (R_{\text{я}} + R_{\text{х}})I, \quad (2)$$

где C – конструктивный коэффициент; F – магнитный поток, Вб; ω – угловая скорость вращения вала (ротора) двигателя, с^{-1} ; L – индуктивность обмотки якоря, Гн; I – ток в цепи якоря, А; t – время, с; R – активное сопротивление цепи якоря, Ом; $R_{\text{я}}$ – внутренне сопротивление цепи якоря, Ом; $R_{\text{х}}$ – внешнее сопротивление цепи якоря, Ом.

С учетом зависимостей (2) уравнение (1) примет вид

$$U = CF\omega + L \frac{dI}{dt} + (R_{\text{я}} + R_{\text{х}})I. \quad (3)$$

Магнитный поток F является функцией тока обмотки возбуждения $I_{\text{в}}$ [1].

Ток в цепи якоря I и магнитный поток F создают электромагнитный момент двигателя $M = CFI$, который приводит во вращение ротор (якорь) двигателя и устройства, соединенные с ним. Второй закон Ньютона применительно к ротору электродвигателя имеет вид [1, 2]

$$M - M_{\text{с}} = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (4)$$

где $M_{\text{с}}$ – момент сопротивления, Н·м; J – момент инерции ротора электродвигателя и соединенных с ним вращающихся и поступательно движущихся масс, кг·м².

Управление электродвигателем заключается в создании воздействий на него, обеспечивающих требуемое значение угловой скорости вращения ротора ω [2, 3]. Согласно уравнениям (3) и (4) возможны следующие воздействия на электродвигатель постоянного тока независимого возбуждения, обеспечивающие изменение угловой скорости вращения якоря (ротора) ω .

1. Изменение напряжения питания обмотки возбуждения $U_{\text{в}}$, вызывающее изменение магнитного потока F .

2. Изменение тока обмотки возбуждения $I_{\text{в}}$ посредством изменения внешнего сопротивления цепи обмотки возбуждения $R_{\text{в}}$, что также вызывает изменение магнитного потока F .

3. Изменение напряжения питания якоря U .

4. Изменение тока в цепи якоря I посредством изменения внешнего сопротивления цепи якоря $R_{\text{х}}$.

5. Изменение момента сопротивления $M_{\text{с}}$. Момент сопротивления также изменяется в результате действия различных случайных факторов.

6. Приложение к валу двигателя крутящего $M_{\text{к}}$ или тормозного $M_{\text{т}}$ момента.

Для моделирования электродвигателя в программе SimInTech будем использовать уравнения (3) и (4), которые запишем в виде

$$L \frac{dI}{dt} = U - CF\omega - (R_{\text{я}} + R_{\text{х}})I; J \frac{d\omega}{dt} = CFI - M_{\text{с}}. \quad (5)$$

Решение системы дифференциальных уравнений (5) – угловая скорость вращения якоря ω в виде функции времени t .

Напряжение питания цепи якоря U определяется по формуле

$$U = Ku, \quad (6)$$

где K – коэффициент усиления преобразователя, например, управляемого выпрямителя; u – управляющий сигнал, вырабатываемый регулятором, В.

$$u = U_{\text{ПМ}} + k_1(U_{\text{ПМ}} - c\omega) + k_2 \int (U_{\text{ПМ}} - c\omega) dt + k_3 \frac{d(U_{\text{ПМ}} - c\omega)}{dt}, \quad (7)$$

где $U_{\text{ПМ}}$ – сигнал потенциометра (задающее воздействие), В; k_1, k_2, k_3 – коэффициенты пропорциональности соответственно пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих регулятора; c – коэффициент усиления тахогенератора.

Сигнал потенциометра $U_{\text{ПМ}}$ связан с заданным значением угловой скорости вращения якоря ω_3

$$U_{\text{ПМ}} = c\omega_3. \quad (8)$$

Математическая модель системы автоматического регулирования (САР) угловой скорости электродвигателя постоянного тока в программе SimInTech [4, 5, 6] показана на рисунке 1. Данная модель включает модель электродвигателя и элементы САР: тахогенератор – усилитель с коэффициентом 0,02665; потенциометр – ступенька; исполнительное устройство – усилитель с коэффициентом 13,75; регулятор включает сравнивающее устройство, параллельно расположенные усилитель, интегратор, усилитель с производной. Момент сопротивления задается ступенчатой функцией.

Модель (рисунок 1) может быть использована для исследования режимов работы электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения без регулятора, когда $k_1 = 0, k_2 = 0, k_3 = 0$; с пропорциональным регулятором при $k_2 = 0, k_3 = 0$; с интегральным регулятором при $k_1 = 0, k_3 = 0$; с пропорционально-интегральным регулятором при $k_3 = 0$; с пропорционально-интегрально-дифференциальным регулятором при $k_1 > 0, k_2 > 0, k_3 > 0$. Результаты моделирования выводятся в виде графиков зависимости угловой скорости вращения якоря ω и тока якоря I от времени t (рисунок 2).

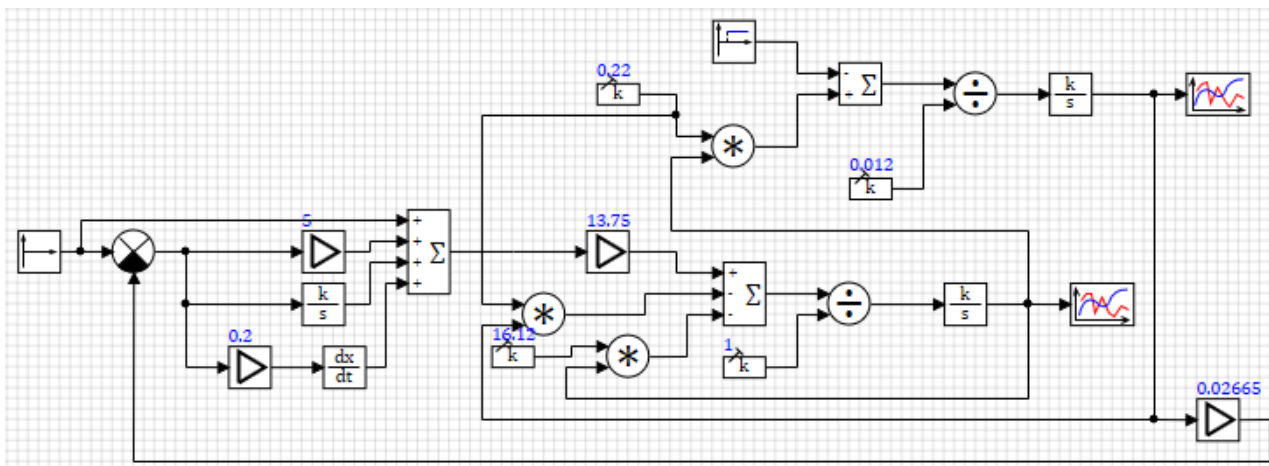


Рисунок 1 – Математическая модель САР угловой скорости электродвигателя постоянного тока в программе SimInTech

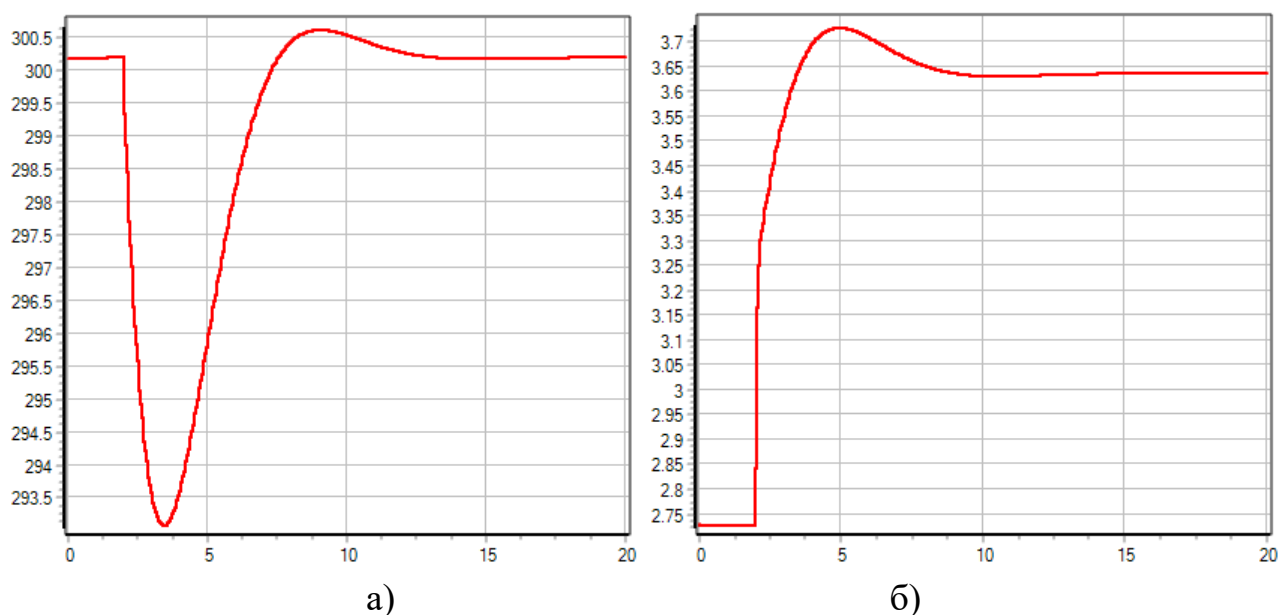


Рисунок 2 – Графики зависимости угловой скорости ω (а) и тока якоря I (б) электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения от времени t при повышении момента сопротивления на 33,3 % (ПИД-регулятор, $k_1 = 3$, $k_2 = 2$, $k_3 = 2$)

Список литературы

1. Кабдин, Н.Е. Электропривод / Н.Е. Кабдин, В.Ф. Сторчевой. – М.: МЭСХ, 2021. – 286 с.
2. Автоматика / Д.Н. Афоничев, С.Н. Пиляев, М.Ю. Еремин [и др.] – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2025. – 241 с. – URL: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b178137.pdf> (дата обращения: 20.03.2025).
3. Поляков, С.И. Автоматика и автоматизация производственных процессов / С.И. Поляков. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», 2008. – 372 с.

4. Афони́чев, Д.Н. Компьютерные технологии в научных исследованиях / Д.Н. Афони́чев, В.В. Васи́льев, М.Ю. Еремин. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2024. – 83 с. – URL: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b176235.pdf> (дата обращения: 20.03.2025).

5. Афони́чев Д.Н. Особенности моделирования электрических машин в программе SIMINTECH / Д.Н. Афони́чев, С.Н. Пи́ляев // Моделирование информационных систем: материалы международной научно-практической конференции; Воронеж, 19-20 мая 2021 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», 2021. – С. 340–345. – URL: <https://vgltu.ru/nauka/konferencii/2021/modelirovanie-informacionnyh-sistem/> (дата обращения: 20.03.2025).

6. Среда динамического моделирования SimInTech. – URL: <http://simintech.ru> (дата обращения: 20.03.2025).

References

1. Kabdin, N.E. Electric drive / N.E. Kabdin, V.F. Storchevoy. – M.: MESKH, 2021. – 286 p.

2. Automation / D.N. Afonichev, S.N. Pilyaev, M.Yu. Eremin [et al.] – Voronezh: Voronezh State Pedagogical University, 2025. – 241 p. – URL: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b178137.pdf> (date of reference: 03/20/2025).

3. Polyakov, S.I. Automation and automation of production processes / S.I. Polyakov. – Voronezh: Voronezh State Forestry Engineering Academy, 2008. – 372 p.

4. Afonichev, D.N. Computer technologies in scientific research / D.N. Afonichev, V.V. Vasiliev, M.Yu. Eremin. – Voronezh: Voronezh State Pedagogical University, 2024. – 83 p. – URL: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b176235.pdf> (date of request: 03/20/2025).

5. Afonichev D.N. Features of modeling electric machines in the SIMINTECH program / D.N. Afonichev, S.N. Pilyaev // Modeling of information systems: proceedings of the International scientific and practical conference; Voronezh, May 19-20, 2021. – Voronezh: Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2021. – Pp. 340-345. – URL: <https://vgltu.ru/nauka/konferencii/2021/modelirovanie-informacionnyh-sistem/> / (date of access: 03/20/2025).

6. SimInTech dynamic modeling environment. – URL: <http://simintech.ru> (date of request: 03/20/2025).

**КОМБИНИРОВАННЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ
БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ
COMBINEDTRANSPORTUNMANNEDAERIALVEHICLE**

Афоничев Д.Н., д.т.н., профессор

Васильев В.В., к.т.н. доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет

имени императора Петра I»

г. Воронеж, Россия

dmafonichev@yandex.ru

Afonichev D.N., Doctor of Technical Sciences, Professor

Vasiliev V.V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State Agrarian University

named after Emperor Peter the Great»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: Представлена конструкция комбинированного транспортно-го беспилотного летательного аппарата и дано описание его работы при транспортировке грузов. Представленный комбинированный транспортный беспилотный летательный аппарат может эффективно использоваться в горных условиях для транспортировки лесоматериалов ценных пород древесины, доставки грузов в труднодоступные горные места, выполнения транспортных и строительно-монтажных работ в сложных и стесненных условиях, при обслуживании высотных сооружений, для перемещения грузов между кораблями в море и обслуживания высотных элементов кораблей.

Summary: The design of a combined transport unmanned aerial vehicle is presented and description of its operation during cargo transportation is given. The presented combined transport unmanned aerial vehicle can be effectively used in mountainous conditions for transporting timber of valuable wood species, delivering goods to difficult mountainous locations, performing transport and construction and installation work in difficult and cramped conditions, when servicing high-altitude structures, for moving goods between ships in sea and maintenance of high-altitude elements of ships.

Ключевые слова: комбинированный транспортный беспилотный летательный аппарат, кольцевая рама, грузозахватная стропа, Г-образная тяга, блок управления, оператор, сигнал.

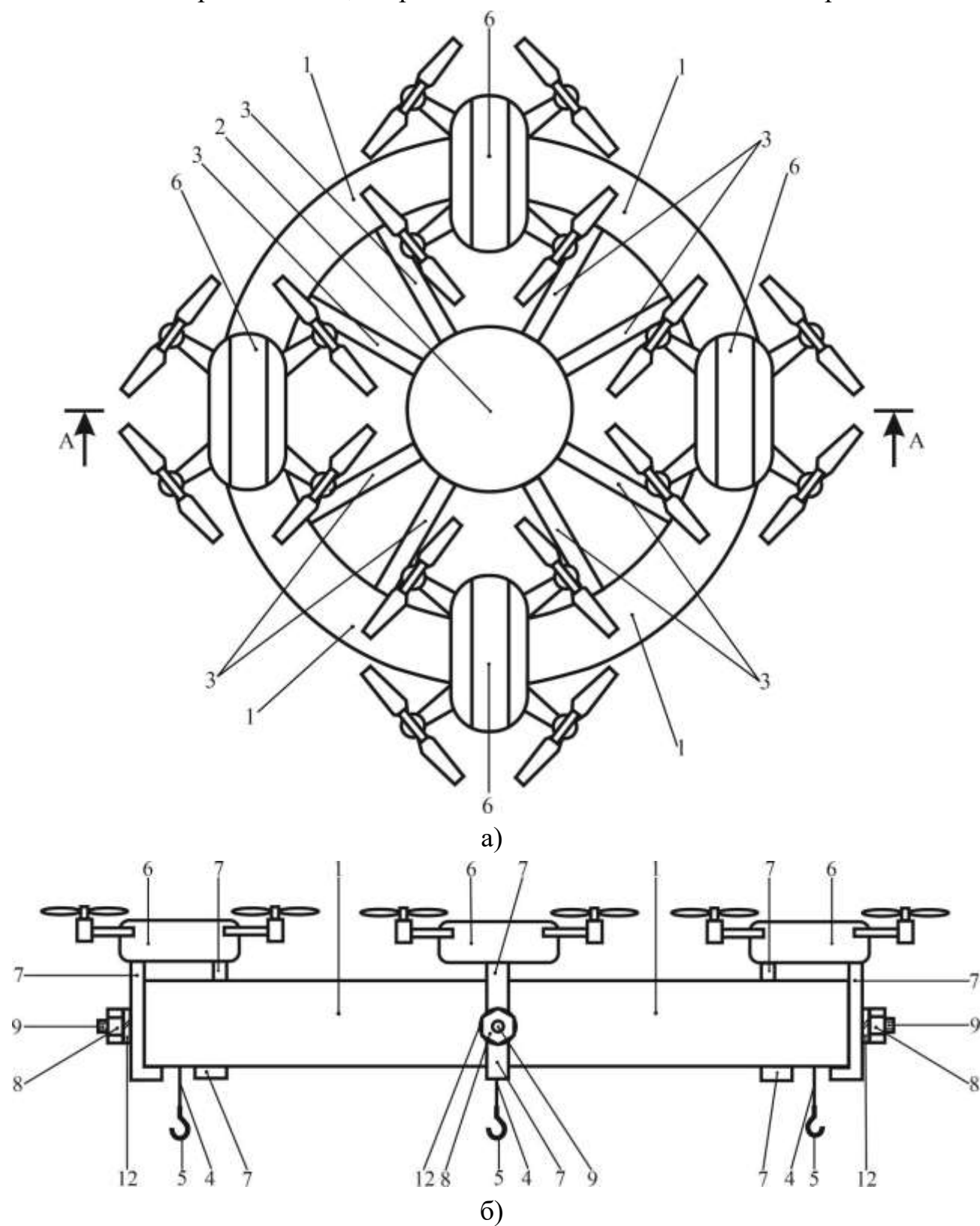
Keywords: combined transport unmanned aerial vehicle, ring frame, lifting lines, L-shaped thrust, control unit, operator, signal.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) находят широкое применение в различных отраслях экономики [1-6]. Наиболее целесообразно их использование в условиях, где применение наземных технических средств невозможно, опасно, или сопряжено с высоким риском. Так как оператор БПЛА осуществляет управление аппаратом дистанционно, то риск для оператора при работе БПЛА в опасных условиях практически исключается.

Предложен комбинированный транспортный БПЛА [7]. Его конструкция приведена на рисунках 1 и 2. Комбинированный транспортный БПЛА включает кольцевую раму 1, внутри которой расположен блок управления 2, соединенный с кольцевой рамой 1 горизонтальными спицами 3, на нижней поверхности кольцевой рамы 1 закреплены грузозахватные стропы 4, оснащенные на свободных концах грузозахватными крюками 5; БПЛА6, расположенные над верхней поверхностью кольцевой рамы 1 и оснащенные парами вертикальных Г-образных тяг 7, закрепленных к БПЛА6 длинными сторонами. Вертикальные Г-образные тяги 7 каждого БПЛА6 направлены короткими сторонами друг к другу и прижаты длинными сторонами к внешней боковой и внутренней боковой поверхностям кольцевой рамы 1 гайками 8, накрученными на резьбовые концы шпильки 9, проходящей через горизонтальное радиальное отверстие 10 кольцевой рамы 1 и отверстия 11, выполненные на длинных сторонах вертикальных Г-образных тяг 7, таким образом, что короткие стороны вертикальных Г-образных тяг 7 прижаты к нижней поверхности кольцевой рамы 1. На шпильке 9 между гайками 8 и длинными сторонами вертикальных Г-образных тяг 7 установлены пружинные шайбы 12.

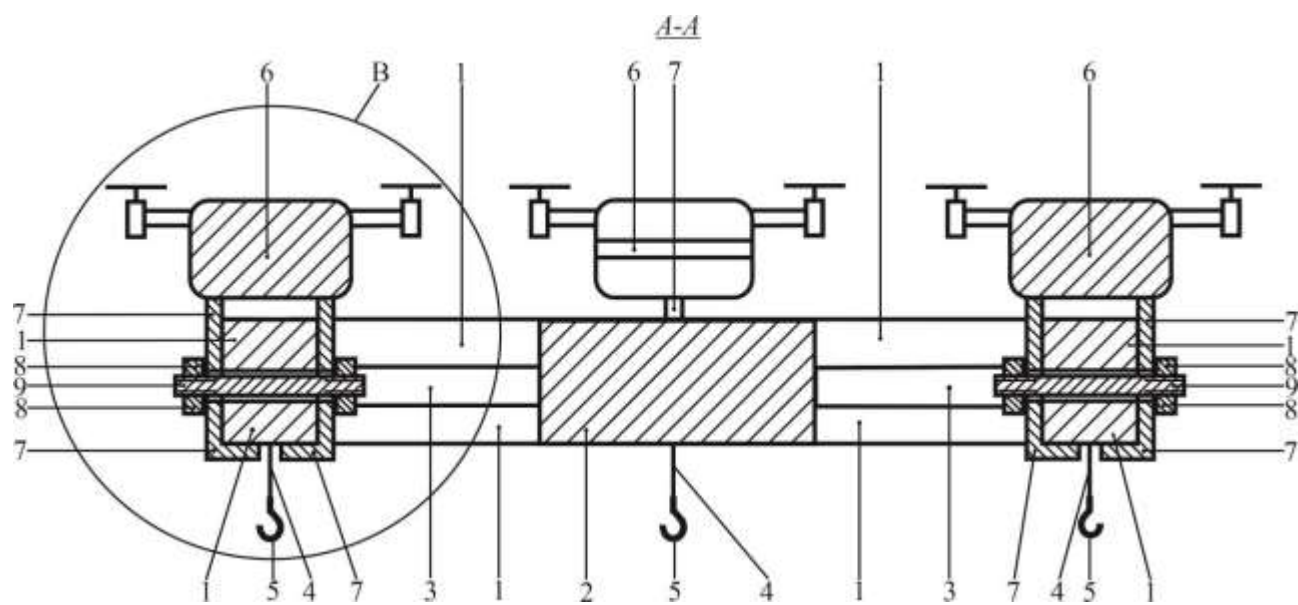
Комбинированный транспортный БПЛА работает следующим образом. Сначала выполняется его сборка. На кольцевую раму 1, на нижней поверхности которой закреплены грузозахватные стропы 4, оснащенные на свободных концах грузозахватными крюками 5, устанавливается блок управления 2 и соединяется с кольцевой рамой горизонтальными спицами 3. Сверху на кольцевую раму 1 над горизонтальными радиальными отверстиями 10 монтируются БПЛА6 (2, 4 или 6 шт.) в зависимости от требуемой грузоподъемности комби-

нированного транспортного БПЛА. При этом БПЛА6 оборудованы парами вертикальных Г-образных тяг 7, закрепленных к БПЛА6 длинными сторонами.



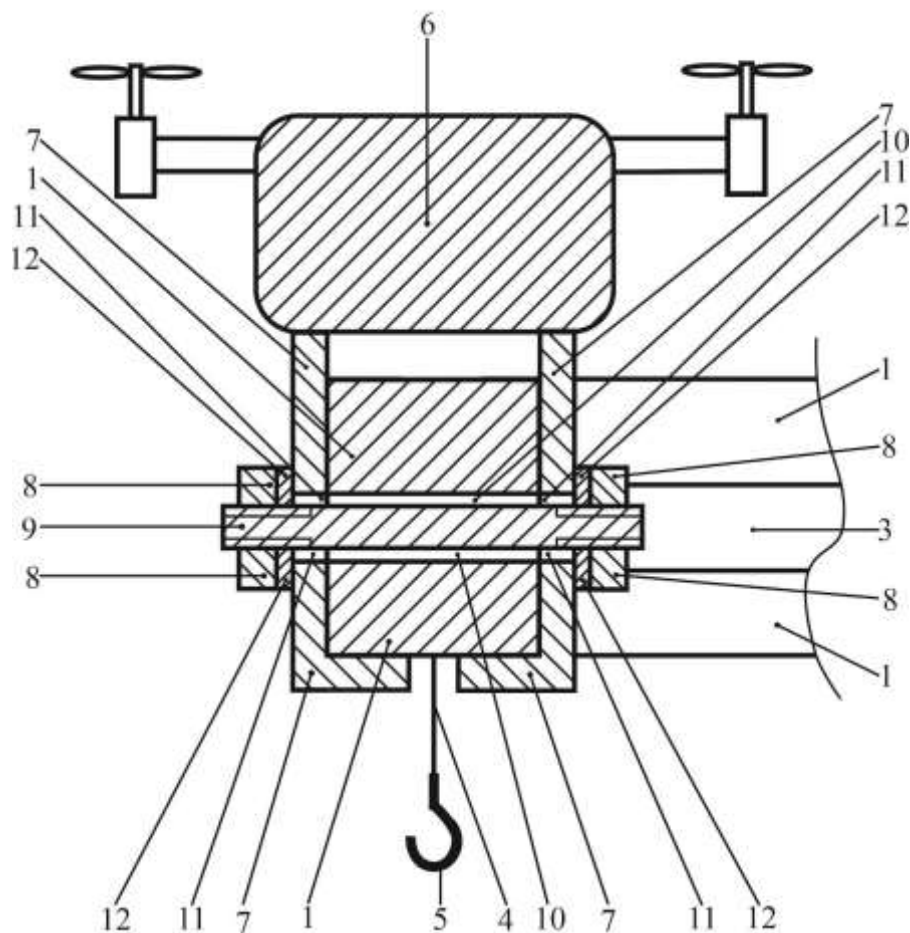
а – вид сверху; б – вид с внешней боковой поверхности кольцевой рамы

Рисунок 1 – Комбинированный транспортный БПЛА



а)

B



б)

а – разрез А–А на рисунке 1, а; б – Узел Б

Рисунок 2 – Конструкция комбинированного транспортного БПЛА

Отверстия 11, выполненные на длинных сторонах вертикальных Г-образных тяг 7, совмещаются с горизонтальными радиальными отверстиями

10кольцевой рамы 1, и в них вставляются шпильки 9, так, чтобы резьбовые концы шпилек 9 выходили за отверстия 11, выполненные на длинных сторонах вертикальных Г-образных тяг 7. На резьбовые концы шпилек 9 к длинным сторонам вертикальных Г-образных тяг 7 устанавливают пружинные шайбы 12 и закручивают гайки 8. Пружинные шайбы 12 препятствуют самораскручиванию гаек 8 под действием внешних нагрузок. После закрепления всех БПЛА6 к кольцевой раме 1 оператор подает сигнал на взлет. Блок управления 2 выдает управляющие сигналы соответствующим исполнительным устройствам. Комбинированный транспортный БПЛА взлетает и направляется сигналом к месту хранения транспортируемого груза. При достижении места хранения груза оператор подает сигнал на снижение и блок управления 2 выдает управляющие сигналы соответствующим исполнительным устройствам. Комбинированный транспортный БПЛА опускается на высоту, обеспечивающую зацепление груза грузозахватными крюками 6. Выполняется зацепление груза грузозахватными крюками 6. Оператор подает сигнал на взлет и блок управления 2 выдает управляющие сигналы соответствующим исполнительным устройствам. Комбинированный транспортный БПЛА взлетает на требуемую высоту и направляется сигналом к месту доставки груза. По прибытии к месту доставки груза оператор подает сигнал на снижение и блок управления 2 выдает управляющие сигналы соответствующим исполнительным устройствам. Комбинированный транспортный БПЛА снижается на высоту, обеспечивающую снятие груза с грузозахватных крюков 6. Снимается груз с грузозахватных крюков 6. Оператор подает сигнал на взлет и блок управления 2 выдает управляющие сигналы соответствующим исполнительным устройствам. Комбинированный транспортный БПЛА взлетает на требуемую высоту и направляется сигналом к месту назначения.

При необходимости комбинированный транспортный БПЛА может быть разобран для его транспортировки на другой объект или на предприятие, осуществляющее техническое обслуживание и ремонт.

Представленный комбинированный транспортный БПЛА может эффективно использоваться в горных условиях для транспортировки лесоматериалов ценных пород древесины, доставки грузов в труднодоступные горные места, выполнения транспортных и строительно-монтажных работ в сложных и стесненных условиях, при обслуживании высотных сооружений, для перемещения грузов между кораблями в море и обслуживания высотных элементов кораблей.

Список литературы

1. Васильев, В.В. Внедрение беспилотных летательных аппаратов с искусственным интеллектом в электроэнергетическую отрасль / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев, Н.Н. Папонов // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: материалы международной научно-практической конференции; Воронеж, 25 февраля 2022 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2022. – Ч. II. – С. 19-26.

2. Васильев, В.В. Использование беспилотных летательных аппаратов с искусственным интеллектом на первоначальном сплаве лесоматериалов / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев // Современный лесной комплекс страны: проблемы и тренды развития: материалы всероссийской научно-практической конференции; Воронеж, 7 октября 2022 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», 2022. – С. 149-156. – URL: <https://vgltu.ru/nauka/konferencii/2022/sovremennyj-lesnoj-kompleks-strany-problemy-i-trendy-razvitiya> (дата обращения: 20.03.2025).

3. Васильев, В.В. Применение беспилотных летательных аппаратов с искусственным интеллектом в агропромышленном комплексе / В.В. Васильев, Н.Н. Папонов, И.И. Аксенов // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы национальной научно-практической конференции. Секция «Инновационные направления механизации и электрификации сельскохозяйственного производства» (19-21 апреля 2022 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2022. – Ч. I. – С. 54–63.

4. Васильев, В.В. Применение беспилотных летательных аппаратов с искусственным интеллектом в ветроэнергетике / В.В. Васильев, Н.Н. Папонов, И.И. Аксенов // Автоматизация и управление в технических, организационных и экономических системах: материалы национальной научно-практической конференции студентов и молодых ученых; г. Воронеж, 21 марта 2022 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГЛУ», 2022. – С. 5-13. – URL: <https://vgltu.ru/nauka/konferencii/2022/nacionalnaya-nauchno-prakticheskaya-konferenciya-studentov-i-molodyh-uchenyh-avtomatizaciya-i-upravlenie-v-tehnicheskikh-organiza>. – DOI: 10.34220/ACTOES2022_5-13 (дата обращения: 20.03.2025).

5. Васильев, В.В. Перспективные конструкции беспилотных летательных аппаратов для электроэнергетической отрасли / В.В. Васильев, Н.Н. Папонов, И.И. Аксенов // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе (6-7 июня 2022 г.) : материалы международной научно-

практической конференции. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2022. – Ч. I. – С. 65–77.

6. Фролова Ю.П. Применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве / Ю.П. Фролова, О.Г. Швачкина, Н.В. Прибылова // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 71-й науч. студ. конф. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – С. 71-75.

7. Патент № 2835244 РФ, МПК В 64 U 10/13. Комбинированный транспортный беспилотный летательный аппарат / Д.Н. Афоничев, В.В. Васильев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – № 2024126683; заявл. 11.09.2024; опубл. 24.02.2025, бюл. № 6. – 12 с.

References

1. Vasiliev, V.V. Introduction of unmanned aerial vehicles with artificial intelligence into the electric power industry / V.V. Vasiliev, D.N. Afonichev, N.N. Paponov // Trends in the development of technical means and technologies in the agro-industrial complex : materials of the international scientific and practical conference; Voronezh, February 25, 2022 - Voronezh: Voronezh State Pedagogical University, 2022. – Part II. – Pp. 19-26.

2. Vasiliev, V.V. The use of unmanned aerial vehicles with artificial intelligence on the initial timber rafting / V.V. Vasiliev, D.N. Afonichev // The modern forest complex of the country: problems and development trends: materials of the All-Russian scientific and practical conference; Voronezh, October 7, 2022 – Voronezh: Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2022. – Pp. 149-156. – URL: <https://vgltu.ru/nauka/konferencii/2022/sovremennyj-lesnoj-kompleks-strany-problemy-i-trendy-razvitiya> (date of request: 03/20/2025).

3. Vasiliev, V.V. The use of unmanned aerial vehicles with artificial intelligence in the agro-industrial complex / V.V. Vasiliev, N.N. Paponov, I.I. Aksenov // Theory and practice of innovative technologies in agriculture: proceedings of the national scientific and practical conference. Section "Innovative directions of mechanization and electrification of agricultural production" (April 19-21, 2022). – Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2022. – Part I. – С. 54-63.

4. Vasiliev, V.V. The use of unmanned aerial vehicles with artificial intelligence in wind power engineering / V.V. Vasiliev, N.N. Paponov, I.I. Aksenov // Automation and control in technical, organizational and economic systems: proceedings of the national scientific and practical conference of students and young scientists; Voronezh, March 21 2022 – Voronezh: VGLTU Federal State Budgetary Educational

Institution, 2022. – Pp. 5-13. – URL: <https://vgltu.ru/nauka/konferencii/2022/nacionalnaya-nauchno-prakticheskaya-konferenciya-studentov-i-molodyh-uchenyh-avtomatizaciya-i-upravlenie-v-tehnicheskikh-organiza.> – DOI: 10.34220/ACTOES2022_5-13 (accessed: 03/20/2025).

5. Vasiliev, V.V. Promising designs of unmanned aerial vehicles for the electric power industry / V.V. Vasiliev, N.N. Paponov, I.I. Aksenov // Energy efficiency and energy conservation in modern production and society (June 6-7, 2022): materials of the international scientific and practical conference. Voronezh: Voronezh State Pedagogical University, 2022. – Part I.– pp. 65-77.

6. Frolova Yu.P. The use of unmanned aerial vehicles in agriculture / Yu.P. Frolova, O.G. Shvachkina, N.V. Pribylova // Youth vector of agricultural science development: materials of the 71st Scientific Student Conference – Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2020. – Pp. 71-75.

7. Patent No. 2835244 of the Russian Federation, IPC B 64 U 10/13. Combined transport unmanned aerial vehicle / D.N. Afonichev, V.V. Vasiliev; applicant and patent holder of Voronezh State Agrarian University. – No. 2024126683; application 11.09.2024; published 24.02.2025, bul. No. 6. – 12 p.

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ
РОБОТИЗИРОВАННЫХ МАШИН В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ
DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR THE MOVEMENT
OF ROBOTIC MACHINES IN URBAN CONDITIONS**

Богданов И.В., студент

Мещерякова А.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Россия

Bogdanov I.V., student

Meshcheryakova A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE « Voronezh State University of Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov»,
Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматриваются принципы работы и алгоритмы управления роботизированными снегоуборочными машинами. Описаны основные подсистемы, включая систему навигации, систему обнаружения препятствий, систему планирования маршрута и исполнительные механизмы. Особое внимание уделено алгоритмам, используемым для определения границ обрабатываемой территории, оптимизации маршрута с учетом рельефа и текущего состояния снежного покрова, а также адаптации к изменяющимся погодным условиям. Представлены методы машинного обучения, применяемые для повышения эффективности и безопасности работы автономных снегоуборщиков. Обсуждаются перспективы развития и внедрения данной технологии в различных сферах.

Summary: The article discusses the operating principles and control algorithms of robotic snow removal machines. The main subsystems are described, including the navigation system, obstacle detection system, route planning system and actuators. Particular attention is paid to the algorithms used to determine the boundaries of the area to be processed, route optimization taking into account the terrain and current state of the snow cover, as well as adaptation to changing weather conditions.

Machine learning methods used to improve the efficiency and safety of autonomous snow removal machines are presented. Prospects for the development and implementation of this technology in various fields are discussed.

Ключевые слова: роботизированная снегоуборочная машина, автономная навигация, обнаружение препятствий, планирование маршрута, машинное обучение, алгоритмы управления, снегоуборочная техника, автоматизация уборки снега.

Keywords: robotic snow removal machine, autonomous navigation, obstacle detection, route planning, machine learning, control algorithms, snow removal equipment, automation of snow removal.

Согласно прогнозам Международной федерации робототехники (МФР), к 2025 году отрасль ждет революционные изменения, которые перевернут подходы к автоматизации. Основные направления развития включают:

1. Искусственный интеллект как драйвер адаптивности.

Нейросетевые технологии станут ключевым инструментом для повышения гибкости роботов. Физический искусственный интеллект, способный обучаться в реальном времени, будет востребован в промышленности (например, для управления конвейерами) и сервисной сфере – от уборки до логистики. Такие системы смогут самостоятельно корректировать действия при изменении условий, что снизит количество ошибок на 40–60%, по оценкам аналитиков[1].

2. Взлет рынка специализированных андроидов.

Производители переориентируются на создание роботов с гиперспециализацией. Например, в автопроме будут внедрять человекоподобных роботов для сборки деталей в условиях ограниченного пространства, а в складской логистике – для сортировки грузов с точностью до миллиметра. По данным аналитиков, к 2025 году доля узкопрофильных роботов в общем объеме продаж вырастет до 70% [2].

3. Энергетическая революция: легкие, «умные» и бионические.

Повышение энергоэффективности станет обязательным требованием. Конструкторы будут использовать композитные материалы для снижения веса, внедрять режимы «сна» при простоях и применять бионические захваты, имитирующие строение человеческой кисти. Например, роботизированные руки с сенсорной обратной связью смогут бережно перемещать хрупкие объекты, снижая энергозатраты на 30%.

4. Расширение рынков: от заводов до сельского хозяйства.

Хотя промышленность останется основным потребителем роботов, новые ниши появятся в сельском хозяйстве (автономные сеялки), ЖКХ (уборка территорий [3]) и даже в быту (роботы-помощники). Для таких секторов будут разработаны бюджетные модели с упрощенной логикой, где точность и грузоподъемность не критичны. По прогнозам McKinsey, к 2025 году эти сегменты составят 25% глобального рынка робототехники.

5. Борьба с дефицитом кадров через автоматизацию.

Роботы возьмут на себя до 50% рутинных и опасных задач: от работы с токсичными веществами до обслуживания высотных конструкций. Это не только сократит травматизм на производстве, но и высвободит людей для творческих и стратегических задач. Так, в строительстве дроны уже заменяют людей при осмотре мостов, снижая риски на 80%.

На этом фоне автоматизация уборки снега с помощью роботов выглядит перспективным направлением. Традиционные методы, требующие больших трудозатрат и зависящие от погоды, постепенно уступают место автономным машинам. Роботизированные снегоуборщики способны повышать эффективность очистки территорий, снижать расходы и минимизировать риски в сложных условиях. Роботизированные снегоуборщики предлагают:

- экономию ресурсов: снижение затрат на топливо и зарплаты до 40%.
- повышение безопасности: минимизация аварий из-за гололеда или снежных заносов.
- круглосуточную работу: автономные машины не требуют перерывов, что критично в снежные зимы.

Современная снегоуборочная машина – это симбиоз механики, сенсоров и искусственный интеллект. Структура роботизированной снегоуборочной машины включает:

1). Систему навигации: GPS/ГЛОНАСС, инерциальные датчики (IMU), лидары и алгоритмы SLAM для точного позиционирования даже при слабом сигнале. Для точного позиционирования используются спутниковые системы, инерциальные датчики (IMU) и лидары. Алгоритм SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) создает 3D-карту местности в реальном времени, даже при отсутствии GPS-сигнала. Например, в метель система опирается на данные лидара, распознавая контуры зданий и деревьев с точностью до 2 см.

2) Обнаружение препятствий: комплекс датчиков (лидары, радары, камеры, ультразвук) с алгоритмами сенсорного слияния данных для надежного распознавания объектов. Комплекс из лидаров (дальность до 200 м), радаров (ра-

ботают в снегопад), ультразвуковых датчиков (для ближней зоны) и камер с искусственным интеллектом-анализом распознает объекты с 99% точностью. Например, нейросеть различает пешехода и снежный сугроб, корректируя маршрут за 0,3 секунды.

3) Планирование маршрута: использование алгоритмов A*, Dijkstra и методов покрытия территории для оптимального пути с учетом рельефа и плотности снега. Для оптимизации пути используются:

- A* и Дейкстры: минимизация времени уборки за счет расчета кратчайшего маршрута.

- Алгоритмы покрытия территории: змейкой или спиралью очищают площадь без пропусков.

- Адаптивное планирование: в случае появления внезапного препятствия (например, припаркованного автомобиля) маршрут перестраивается за 500 мс.

4) Исполнительные механизмы: управление отвалом, ротором и гидравликой с адаптацией к типу снежного покрова.

Отвал с регулируемым углом атаки и ротор с изменяемой скоростью вращения адаптируются к плотности снега. Например, для рыхлого снега ротор работает на 1500 об/мин, а для наледи – на 2500 об/мин, что снижает энергопотребление на 25%.

5) Центральный контроллер: обработка данных, управление подсистемами и телеметрия для удаленного контроля.

«Мозг» робота обрабатывает данные со скоростью 50 ГБ/час, управляя всеми системами. Через облачную платформу оператор может удаленно контролировать до 50 машин, получая отчеты о расходе энергии и состоянии узлов.

Методы искусственного интеллекта проникают во все аспекты работы роботов:

- адаптивный отвал: нейросеть, обученная на данных о 10000 снегоуборок, подбирает угол наклона отвала в зависимости от типа покрытия (асфальт, брусчатка) и температуры воздуха;

- прогноз погоды: модель, интегрированная с метеосервисами, предсказывает образование наледи за 6 часов, перенастраивая режим работы машины;

- энергоэффективные маршруты: алгоритм, анализирующий карты высот, минимизирует подъемы, сокращая расход энергии на 18%.

Роботизированные снегоуборщики – не просто инструмент для уборки, а часть глобальной трансформации городской инфраструктуры. Их внедрение требует решения ряда задач:

- разработка стандартов безопасности для автономных машин;
- интеграция с «умными» городскими системами (например, светофорами);
- создание резервных источников энергии для работы в условиях перебоев.

Таким образом, внедрение роботизированных решений в зимнее содержание территорий не только соответствует глобальным трендам, но и способно стать прорывом в обеспечении транспортной доступности и снижении аварийности в условиях климатических вызовов.

Список литературы

1. Hi-News.ru – Создан робот для автоматической очистки снега на больших территориях. – URL: <https://hi-news.ru/technology/sozdan-robot-dlya-avtomaticheskoy-ochistki-sneга-na-bolshix-territoriyah.html?ysclid=m8ww2gitvd548624465> (дата обращения: 31.03.2025).
2. Мир робототехники. – URL: <https://roboticsworld.ru/news/top-5-trendov-robototekhniki-2025-goda/> (дата обращения: 31.03.2025).
3. ЭнергоТехИнновации. – URL: <https://zoomlion-maz.by/obzory-novejshejspectehniki/bespilotnaja-spectehnika-v-stroitelstve-budushhee-uzhe-zdes/> (дата обращения: 31.03.2025).

References

1. Hi-News.ru – A robot for automatic snow removal over large areas has been created. – URL: <https://hi-news.ru/technology/sozdan-robot-dlya-avtomaticheskoy-ochistki-sneга-na-bolshix-territoriyah.html?ysclid=m8ww2gitvd548624465> (date of access: 31.03.2025).
2. The world of robotics. – URL: <https://roboticsworld.ru/news/top-5-trendov-robototekhniki-2025-goda/> (date of access: 31.03.2025).
3. EnergyTechInnovations. – URL: <https://zoomlion-maz.by/obzory-novejshejspectehniki/bespilotnaja-spectehnika-v-stroitelstve-budushhee-uzhe-zdes/> (date of access: 31.03.2025).

**КЛАССИФИКАЦИЯ ВНУТРИТРУБНЫХ
РОБОТОВ-ДЕФЕКТОСКОПОВ
CLASSIFICATION OF IN-TUBE ROBOTS FOR FLAW DETECTION**

Боровинский Д.Д., студент

Стариков А.В., д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

danilborovinsky@yandex.ru

Borovinsky D.D., Student

Starikov A.V., DSc (Engineering), Professor

FSBEI HE “Voronezh State University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov”

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье представлены различные системы классификации внутритрубных роботов, применяемых для дефектоскопии трубопроводов. Рассмотрены особенности конструкции таких устройств, а также представлены примеры существующих моделей. Дополнительно обсуждаются возможные направления развития технологий в данной области.

Summary: The article presents various classification systems for in-tubs robots used for pipeflaw detection. The design features of such devices considered, and examples of existing models presented. Additionally, possible directions for technology development in this area are discussed.

Ключевые слова: диагностика трубопроводов, дефектоскопия, внутритрубные роботы, системы классификации.

Keywords: pipeline diagnostics, flaw detection, in-tube robots, classification systems.

Введение

Современные промышленные предприятия сталкиваются с необходимостью регулярного мониторинга состояния трубопроводов для обеспечения их

надежности и безопасности. Внутритрубные роботы-дефектоскопы представляют собой передовые технологические решения, позволяющие эффективно и точно диагностировать состояние труб без необходимости их демонтажа или остановки эксплуатации. Возможность проведения инспекции без необходимости прекращения работы трубопровода является главным преимуществом. Это особенно важно для предприятий, где остановка производства может повлечь значительные финансовые потери [1].

Внутритрубные роботы-дефектоскопы играют ключевую роль в обеспечении долговечности и безопасности трубопроводных систем. Они используются в широком спектре отраслей, начиная от нефтегазового сектора и заканчивая коммунальным хозяйством. Одной из главных задач этих устройств является своевременное выявление коррозионных повреждений, трещин, утечек и прочих дефектов, которые могут привести к аварийным ситуациям.

Помимо уже зарекомендовавших себя технологий, продолжаются исследования и разработки новых методов и конструкций внутритрубных роботов. В частности, уделяется внимание повышению точности измерений, улучшению маневренности аппаратов в сложных условиях и расширению возможностей интеграции данных.

Таким образом, внутритрубные роботы-дефектоскопы являются важным элементом современной промышленной инфраструктуры, способствующим повышению уровня безопасности и экономической эффективности эксплуатации трубопроводных систем [2].

Классификация внутритрубных роботов-дефектоскопов

Существуют различные системы классификации роботов для диагностики и дефектоскопии трубопроводов. Так, например, в работе [3] для классификации роботов, перемещающихся по трубам, предлагаются следующие критерии (классификационные признаки):

- поверхность трубы, по которой перемещается робот (внешняя или внутренняя);
- управляемость конструкции (активность или пассивность);
- тип контакта с поверхностью трубы;
- возможность движения «с распором» и управления нормальными реакциями в опорах;
- возможность управления силой трения в опорах;
- вид опорного элемента;
- типы привода;

– типы трансмиссии.

Важным признаком, позволяющим классифицировать внутритрубные роботы, является способ (принцип) перемещения робота внутри трубы и связанные с этим конструктивные особенности робота. В соответствии с этим признаком выделяют следующие девять разновидностей внутритрубных роботов [4]:

- 1) пассивные роботы, перемещаемые потоком жидкости или газа;
- 2) роботы, использующие червеподобный способ движения;
- 3) роботы, использующие змееподобный способ движения;
- 4) шагающие роботы;
- 5) колесные роботы;
- 6) гусеничные роботы;
- 7) вибрационные роботы;
- 8) роботы с гибкими и упругими звеньями;
- 9) роботы с изменяемой формой корпуса.

Роботы-дефектоскопы также классифицируются по различным критериям, важнейшим среди которых является используемый метод диагностики (дефектоскопии). Среди методов внутритрубной диагностики необходимо выделить следующие [5]:

– метод магнитной дефектоскопии, основанный на регистрации показателей рассеяния, образованного при намагничивании стенки трубы (поток вектора магнитной индукции в месте расположения дефекта не стабилен, т.е. рассеян). Преимуществами данного метода являются эффективное определение вида, местоположения и размера дефекта, низкая стоимость, высокая чувствительность приборов. Недостатками метода являются требование одинакового диаметра трубы на всем диагностируемом участке, контроль дефектов может проводиться лишь для некоторых материалов трубопровода, средняя надежность оборудования;

– метод вихревой дефектоскопии, основанный на фиксации значений электромагнитного поля вихревых токов, которые образуются вблизи дефектов в магнитном поле. После обработки результатов измерений по параметрам, отклоняющимся от нормы, можно выявить наличие дефектов. Преимуществами данного метода являются высокая скорость диагностики, средняя стоимость, высокая точность результатов и чувствительность приборов. Недостатками метода являются небольшая глубина исследования, контроль дефектов может

проводиться лишь для некоторых материалов трубопровода, средняя надежность оборудования;

- метод акустической дефектоскопии с помощью направленных волн (волны Лэмба), основанный на фиксации ультразвуковых волн, отраженных от дефектов. Ультразвуковая волна посылается датчиками в обе стороны диагностируемого трубопровода, при этом регистрируются волны, отраженные от дефектов, после чего формируется карта диагностируемого участка. Преимуществом данного метода является высокая скорость диагностики. Недостатками метода являются низкая чувствительность оборудования, зависимость степени точности результатов от материала трубопровода;

- метод ультразвуковой дефектоскопии (эхо-метод), основанный на посылке дефектоскопом ультразвукового сигнала к исследуемому участку трубы и фиксации временного интервала возврата эхо-сигнала, отраженного от дефекта. Преимуществами данного метода являются возможность обнаружения дефектов на поверхности и в глубине стенок трубы, контроль дефектов может проводиться практически на всех видах материала трубопровода. Недостатками метода являются высокая стоимость, низкая скорость диагностики, средний уровень надежности оборудования;

- метод акустической томографии, основанный на вибрации отдельных элементов трубы под воздействием пульсации давления на трубопроводе и эмиссии сигналов акустических частот, которые распространяются по транспортируемой среде. Прибор фиксирует резонансную амплитуду при совпадении импульса с собственной частотой колебания дефекта. Преимуществами данного метода являются отсутствие необходимости изменения давления в трубопроводе для проведения диагностики, высокая точность результатов и чувствительность оборудования, большой спектр диагностируемых дефектов. Недостатком метода является ограничения по минимальным параметрам транспортируемой среды (скорость не менее 1 м/с, давление не менее 0,25 МПа).

Наиболее распространенными видами роботов-дефектоскопов являются следующие:

- ультразвуковые роботы-дефектоскопы используют ультразвуковые волны для сканирования стенок труб. Этот метод позволяет измерять толщину стенок, выявлять трещины, расслоения и другие внутренние дефекты. Ультразвуковые роботы часто применяются для обследования толстостенных трубопроводов и могут использоваться в различных средах, включая газо- и нефтепроводы;

– магнитопорошковые роботы-дефектоскопы применяют принцип магнетизма для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов. Данный подход особенно эффективен для металлических трубопроводов, поскольку магнитное поле помогает обнаружить нарушения целостности материала. Магнитопорошковые роботы широко используются в нефтегазовой отрасли и энергетике;

– рентгеновские роботы-дефектоскопы генерируют рентгеновское излучение, которое проходит через материал трубы и фиксирует наличие дефектов. Данный метод подходит для выявления скрытых дефектов, недоступных для других видов диагностики. Однако использование рентгеновского оборудования требует строгого соблюдения норм радиационной безопасности;

– термографические роботы-дефектоскопы анализируют тепловое излучение от поверхности трубы, чтобы определить места с аномальным температурным режимом. Такие роботы помогают выявить участки с повышенной температурой, что может свидетельствовать о наличии коррозии или других проблем. Термографические роботы находят применение в энергетическом секторе и коммунальных системах;

– оптические роботы-дефектоскопы оснащены высокоточными видеокамерами, позволяющими визуально осматривать внутреннюю поверхность труб. Они подходят для оценки состояния покрытия, выявления засорений и механических повреждений трубопроводов. Оптические роботы активно используются в системах водоснабжения и канализации;

– комбинированные роботы-дефектоскопы объединяют несколько методов диагностики в одной платформе. Это позволяет получать более полную картину состояния трубопровода, комбинируя различные подходы для повышения точности и достоверности результатов. Комбинированные роботы становятся всё более популярными благодаря своей универсальности и способности адаптироваться к разным условиям эксплуатации.

Различные принципы работы, используемые роботами-дефектоскопами, определяют их функциональность и применимость в тех или иных условиях. Тем не менее, существуют общие критерии, по которым можно оценить оборудование для диагностики методом неразрушающего контроля. При выборе робота-дефектоскопа необходимо обращать внимание на следующие параметры:

1) Разрешение дефектоскопа, определяющее точность измерения размеров дефектов.

2) Скорость диагностики, для которой обычно наблюдается зависимость: чем выше скорость, тем ниже точность определения дефекта.

3) Способ крепления прибора, обуславливающий удобство монтажа и демонтажа устройства и влияющий на оперативность работы.

4) Защита от внешних воздействий, включая защиту от влаги, давления, осадков и других факторов окружающей среды.

5) Температурный режим, влияющий на точность измерений при экстремально высоких или низких температурах, при которых устройство может выйти из строя.

Учет всех этих факторов позволяет выбрать оптимальный робот-дефектоскоп для конкретных условий эксплуатации.

Примеры различных внутритрубных роботов-дефектоскопов

1) Пассивный робот-дефектоскоп, в качестве которого выступает так называемый инспекционный снаряд, – автономное устройство типа поршня (англ. pig – жаргонный термин, переводящийся как свинья или «чушка»), перемещаемое внутри трубопровода под напором перекачиваемого продукта (нефти, нефтепродуктов, газа и других). Подобное устройство оснащено аппаратурой для ультразвукового или магнитного неразрушающего контроля состояния трубы, для записи и хранения данных контроля и вспомогательной служебной информации, а также источниками питания этой аппаратуры.

Пример внутритрубного инспекционного снаряда, представленный в описании патента RU 2 400 738 C1 (авторы изобретения Евсюков И.П., Цацуев М.С.), показан на рисунке 1 [6].

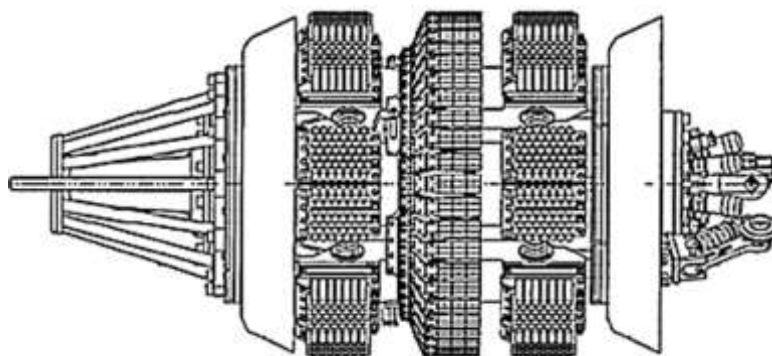


Рисунок 1 – Пример внутритрубного инспекционного снаряда

На корпусе внутритрубного инспекционного снаряда установлены датчики магнитного поля и колебательные контуры, каждый из которых содержит пару индуктивных катушек. Колебательный контур подключен к входу выпрямителя, выход которого подключен к входу интегратора. В процессе перемеще-

ния по трубе дефектоскоп выполняет измерения с помощью датчиков и колебательных контуров. Колебательный контур периодически возбуждают единичным электрическим импульсом и измеряют характеристику затухания колебаний в нем. Наличие дефекта в трубе идентифицируют по указанной характеристике затухания.

2) Внутритрубный шагающий робот. В настоящее время это достаточно экзотическая разновидность внутритрубного робота. Исследования этой разновидности роботов имеют в основном теоретический характер (см., например, [7, 8]). Однако, имеются также немногочисленные примеры практически реализованных внутритрубных шагающих роботов-дефектоскопов (например, разработанный в Германии в 1998 г. робот, который был назван MORITZ [5]). Внешний вид внутритрубного шагающего робота MORITZ показан на рисунке 2.

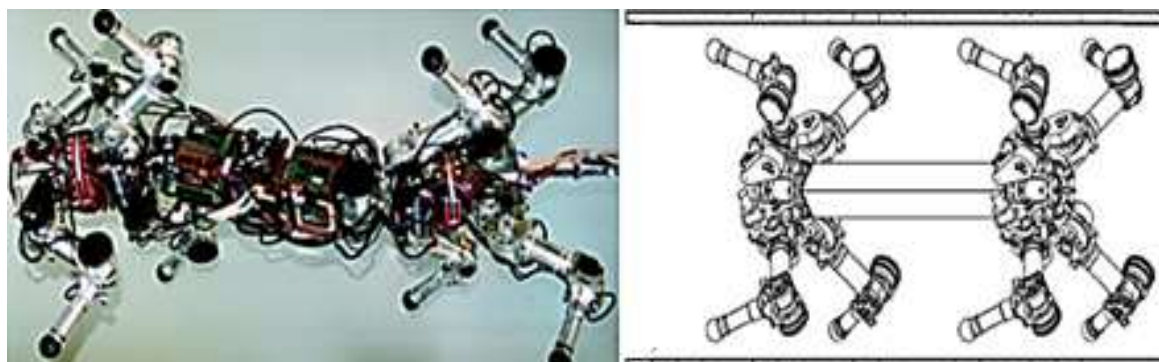


Рисунок 2 – Внешний вид и общая схема внутритрубного шагающего робота

Шагающий робот-дефектоскоп MORITZ способен перемещаться в трубах диаметром 600...700 мм и может быть запрограммирован на различные типы походов в зависимости от вида преодолеваемого препятствия. Под препятствием в данном случае понимают Y- или T-образное разветвление трубы, поворот трубы, крупный дефект на внутренней поверхности трубы или наличие сварного шва. Одним из преимуществ шагающего робота по сравнению с колесным является возможность преодоления препятствий в виде ступеней. В качестве недостатка данной разновидности роботов можно отметить низкую скорость передвижения при вертикальном подъеме робота по трубе.

3) Внутритрубный колесный робот-дефектоскоп. Более частая разновидность практически используемого внутритрубного робота-дефектоскопа. В качестве примера такого робота можно привести транспортный модуль внутритрубного диагностического робота, который представлен в описании патента RU 2 802 383 C1 (авторы Седелев Ю.А., Макарычев Д.А., Кадров А.А. и др.). Способ установки и перемещения транспортного модуля диагностического робота в трубе проиллюстрирован на рисунке 3.

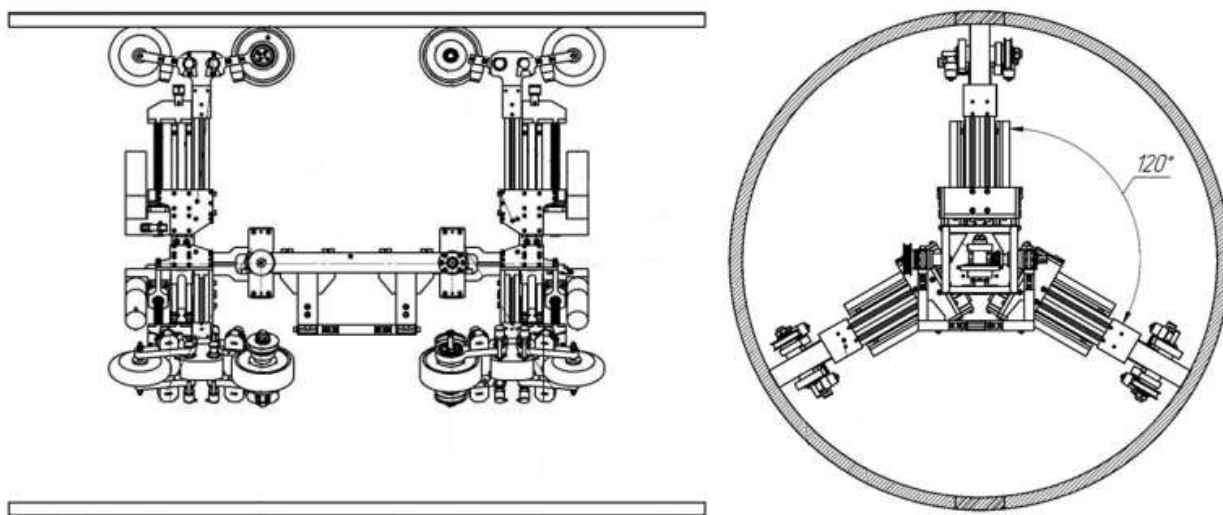


Рисунок 3 – Размещение транспортного модуля робота внутри трубы

Транспортный модуль внутритрубного диагностического модуля содержит два несущих основания, каждый из которых установлен на трех опорных ногах, расположенных радиально под углом 120° друг к другу, с независимыми приводными колесными движителями. Основания соединены друг с другом с помощью двухосевых шарниров, что обеспечивает как прямолинейное движение, когда шарниры блокируются, так и прохождение поворотов в трубе, когда выполняются согласованные повороты шарниров независимо вокруг каждой пары параллельных осей степеней подвижности шарниров.

Для каждой из шести опорных ног обеспечивается качание рычага ноги в радиальной плоскости трубы. Такая кинематическая схема транспортного модуля с качающимися рычагами опорных ног позволяет преодолевать переходы при движении по трубе с конусной внутренней поверхностью за счет изменения наклона рычагов к оси трубы.

4) Внутритрубный ползающий робот-дефектоскоп относится к роботам, перемещающимся по трубам за счет скольжения. К таким роботам относятся роботы, выполняющие змее- и червеподобные, а также ввинчивающиеся движения [3].

Змееподобные роботы передвигаются, совершая серию синусоидальных волн вдоль направления движения параллельно поверхности, что позволяет им перемещать свой центр масс поступательно.

Червеподобные роботы перемещаются за счет циклического сжатия и растяжения отдельных звеньев конструкции вдоль направления движения вдоль направления движения, причем звенья могут располагаться как с распором, так и без распора.

Роботы с ввинчивающейся конструкцией перемещаются аналогично за-
винчивающемуся винту, причем при движении они располагаются в трубе рас-
пором.

Внешний вид внутритрубного червеподобного робота показан на рисун-
ке 4.



Рисунок 4 – Внешний вид внутритрубного червеподобного робота

5) Многозвенный колесный внутритрубный робот. Многозвенная система обеспечивает хорошую гибкость при прохождении сложных участков трубопровода. Особая колесная система позволяет применять такой робот для перемещения по трубопроводу с переменным внутренним диаметром. Внутритрубный робот должен включать в себя четыре основных блока: сенсорную подсистему, центральный блок управления, подсистему исполнительных механизмов и интерфейс оператора, поэтому его главной особенностью является модульность. Внешний вид многозвеного колесного внутритрубного робота показан на рисунке 5.

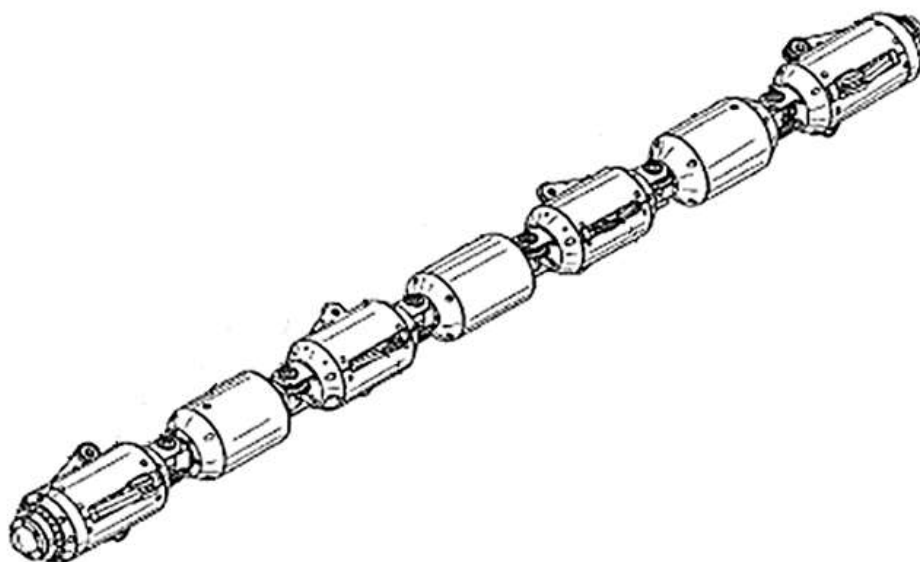


Рисунок 5 –Внешний вид многозвеного колесного внутритрубного робота

Преимущества внутритрубных роботов-дефектоскопов

Внутритрубные роботы-дефектоскопы обладают рядом преимуществ, ко-
торые делают их использование в процессе диагностики и обслуживания тру-

бопроводов целесообразным и эффективным. В ряду этих преимуществ можно выделить следующие:

- использование современных датчиков и алгоритмов обработки данных обеспечивает точное определение местоположения и характера дефектов;
- возможность выявления мелких трещин, коррозии и других скрытых повреждений, которые трудно обнаружить традиционными методами;
- роботы могут функционировать без постоянного присутствия оператора, что уменьшает нагрузку на персонал и снижает вероятность человеческих ошибок;
- многие модели роботов способны работать без необходимости остановки или частичного отключения трубопровода, что снижает производственные издержки и время простоя;
- это особенно актуально для критически важных инфраструктурных объектов, таких как магистральные нефте- и газопроводы;
- роботы устраняют необходимость прямого контакта персонала с потенциально опасными условиями, такими как высокие давления, токсичные вещества или экстремальные температуры;
- меньше расходов на демонтаж и повторную установку трубопроводов после диагностики;
- большинство роботов оснащены системами записи и хранения данных, что позволяет создавать подробные отчёты и архивы для последующего анализа;
- своевременное обнаружение утечек и повреждений предотвращает выбросы вредных веществ в окружающую среду, уменьшая экологический ущерб;
- интеграция внутритрубных роботов с системами искусственного интеллекта и машинного обучения открывает возможности для ещё большего улучшения качества диагностики и предсказательной аналитики.

В совокупности эти преимущества делают внутритрубные роботы-дефектоскопы важными элементами современной промышленной инфраструктуры, способствующими повышению надёжности, безопасности и экономической эффективности эксплуатации трубопроводных систем.

Перспективы развития внутритрубных роботов-дефектоскопов

Перспективы развития внутритрубных роботов-дефектоскопов связаны с внедрением инновационных технологий и улучшением существующих решений. Основные направления развития представлены ниже.

Интеллектуализация и машинное обучение: разработка алгоритмов искусственного интеллекта для автоматической интерпретации данных, полученных в ходе диагностики, применение машинного обучения для прогнозирования износа и выявления потенциальных проблем до их возникновения.

Миниатюризация и повышение мобильности: создание более компактных и легких роботов, способных проникать в труднодоступные участки трубопроводов, улучшение маневренности для прохождения сложных участков, таких как изгибы и сужения.

Расширение функциональности: внедрение новых типов сенсоров и датчиков для более точного и комплексного анализа состояния труб, совмещение нескольких методов диагностики в одном устройстве для повышения точности и уменьшения времени на проверку.

Беспроводные технологии: увеличение дальности и стабильности беспроводной связи для управления роботами и передачи данных в режиме реального времени, развитие автономных систем, работающих без кабеля, что упростит эксплуатацию в удалённых и труднодоступных местах.

Повышение энергоэффективности: оптимизация энергопотребления для увеличения продолжительности работы роботов без перезарядки, использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечные панели или небольшие генераторы.

Совместимость с облачными технологиями: хранение и обработка данных в облаке для облегчения доступа и анализа информации в любое время и из любого места, интеграция с системами управления производственными процессами для автоматического планирования ремонтов и замены элементов трубопроводов.

Улучшение взаимодействия с оператором: разработка удобных интерфейсов и систем виртуальной реальности для дистанционного управления и наблюдения за процессом диагностики, внедрение голосовых команд и голографической визуализации для повышения удобства и эффективности работы операторов.

Развитие аддитивных технологий: изготовление деталей роботов с использованием 3D-печати для ускорения производства и снижения стоимости.

Гибридные системы: комбинация наземных и подводных роботов для комплексной диагностики трубопроводов, проходящих через водоёмы или подземные коммуникации.

Бионические разработки: использование принципов биомеханики для создания роботов, имитирующих движения живых организмов, что позволит улучшить проходимость и устойчивость к внешним воздействиям.

Экологические аспекты: улучшение экологической устойчивости роботов путём использования экологически чистых материалов и сокращения выбросов углекислого газа при производстве и эксплуатации.

Заключение

Анализ использования внутритрубных роботов-дефектоскопов демонстрирует значительный прогресс в области автоматизации и повышения эффективности диагностики промышленных трубопроводов. Современные технологии позволяют значительно сократить время и затраты на проведение обследований, обеспечивая при этом высокую точность и надежность результатов. Разнообразие методов и подходов, используемых в таких системах, делает возможным применение роботов в широком спектре условий эксплуатации, начиная от наземных коммуникаций и заканчивая подводными трубопроводами.

Таким образом, развитие технологий внутритрубной диагностики является важным направлением в обеспечении устойчивого функционирования промышленности и инфраструктуры.

Список литературы

1. Корневская, А.В. Роботизация процессов в нефтегазовой отрасли Российской Федерации / А.В. Корневская, Х.А. Пшиншев // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2020. – Т. 6(16), Вып. 4. – С. 281-289.
2. Сайфутдинов, Р.Н. Обзор современных методов диагностики трубопроводов / Р.Н. Сайфутдинов, Д.С. Бальзамов // Новости теплоснабжения. – 2017. – №9 (205). –URL: <http://www.rosteplo.ru/nt/205> (дата обращения 19.03.2025).
3. Ворочаева, Л. Ю. Классификационные признаки роботов, перемещающихся по трубам / Л. Ю. Ворочаева, С. И. Савин // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2018. – №3. – С. 89-96.
4. Мальчиков, А. В. Разработка мобильной гусеничной платформы для внутритрубной диагностики / А. В. Мальчиков, А. П. Бурцев // Сб. науч. статей 6-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых «Молодежь и наука: шаг к успеху». В 3-х томах. – Курск, 2022. –Т. 3. – С. 280-284.

5. Чибриков, И.О. Анализ методов внутритрубной диагностики магистральных нефтепроводов / И.О. Чибриков, В.К. Тянь // Просвещение и познание. – 2022. – № 8 (15). – С. 3-11. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-vnutritrubnoy-dagnostiki-magistralnyh-nefteprovodov> (дата обращения 19.03.2025).

6. Арискин, И. В. Анализ робототехнических устройств, предназначенных для внутритрубной диагностики / И. В. Арискин // Политехнический молодежный журнал. – 2019. – №9 (38). – С. 523.

7. Воевода, Н. Н. Формирование концепции алгоритма механических схем перемещения как метода адаптации шагающего робота к изменениям внешних и внутренних условий / Н. Н. Воевода // Политехнический молодежный журнал. – 2018. – №12. – С. 422. – DOI: 10.18698/2541-8009-2018-12-422.

8. Савин, С.И. Методы управления движением шагающих внутритрубных роботов / С. И. Савин, Л. Ю. Ворочаева // CloudofScience. – 2018. – Т. 5, №1. – С. 163-195.

9. Поезжаева, Е. В. Модернизация роботизированной внутритрубной диагностической системы / Е. В. Поезжаева, В. А. Горетова // Молодой ученый. – 2019. – №1(239). – С. 43-46. – URL: <https://moluch.ru/archive/239/55291/> (дата обращения: 19.03.2025).

References

1. Korenevskaya, A.V. Robotization of processes in the oil and gas industry of the Russian Federation / A.V. Korenevskaya, H.A. Pshinshev // Geopolitics and eco-geodynamics of regions. – 2020. – Vol. 6(16), Is. 4. – Pp. 281-289.

2. Sayfutdinov, R.N. Review of modern diagnostic methods of pipelines / P.N. Sayfutdinov, D.S. Balzamorov // Innovations in heat supply. – 2017. – №9 (205). – URL: <http://www.rosteplo.ru/nt/205> (accessed 03/19/2025).

3. Vorochaeva, L. Y. Classification features of robots moving through pipes / L. Y. Vorochaeva, S. I. Savin // Bulletin of the BSTU named after V. G. Shukhov. – 2018. – No. 3. – Pp. 89-96.

4. Mal'chikov, A.V. Development of a mobile tracked platform for in-tube diagnostics / A.V. Mal'chikov, A. P. Burtsev // Collection of scientific articles of the 6th All-Russian Scientific Conference of promising developments of young scientists «Youth and science: a step to success». In 3 volumes. – Kursk, 2022. – Vol. 3. – Pp. 280-284.

5. Chibrikov, I.O. Analysis of methods of in-tube diagnostics of magnetic oil pipelines / I.O. Chibrikov, V.K. Tyan // *Prosveshcheniye i poznaniye*. – 2022. – No. 8 (15). – Pp. 3-11. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-vnutritrubnoy-dagnostiki-magistralnyh-nefteprovodov> (accessed 03/19/2025).
6. Ariskin, I. V. Analysis of robotic devices designed for in-tube diagnostics / I. V. Ariskin // *Polytechnic Youth The magazine*. – 2019. – №9 (38). – P. 523.
7. Voevoda, N. N. Formation of the concept of an algorithm for mechanical movement schemes as a method of adapting a walking robot to changes in external and internal conditions / N. N. Voevoda // *Polytechnic Youth Journal*. – 2018. – No. 12. – P. 422. – DOI: 10.18698/2541-8009-2018-12-422.
8. Savin, S.I. Methods of motion control of walking intra-tube robots / S. I. Savin, L. Yu. Vorochaeva // *Cloud of Science*. – 2018. – Vol. 5, No. 1. – Pp. 163-195.
9. Poezhaeva, E. V. Modernization of the robotic in-tube diagnostic system / E. V. Poezhaeva, V. A. Goretova // *Young scientist*. – 2019. – №1(239). – Pp. 43-46. – URL: <https://moluch.ru/archive/239/55291/> (date of access: 03/19/2025).

**ОЦЕНКА ОСАДКИ ПЛОСКИХ СПЛОТОЧНЫХ ЕДИНИЦ
В ПРОГРАММЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ
СПЛАВА ДРЕВЕСИНЫ**
**ESTIMATION OF THE PRECIPITATION OF FLAT COHESIVE UNITS
IN THE AUTOMATED WOOD ALLOY PLANNING PROGRAM**

Васильев В.В., к.т.н. доцент

Афоничев Д.Н., д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет

имени императора Петра I»

г. Воронеж, Россия

vasiliev.vladimir87@mail.ru

Vasiliev V.V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Afonichev D.N., Doctor of Technical Sciences, Professor

FSBEI HE «Voronezh State Agrarian University

named after Emperor Peter the Great»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: Выполненные расчеты в разработанной компьютерной программе, предназначенной для автоматизированного планирования сплава древесины, позволили получить закономерности изменения осадки усовершенствованных плоских сплочных единиц от таких показателей, как плотность древесины, глубина сплавного хода и диаметр круглых лесоматериалов, из которых собраны эти сплочные единицы. Данные закономерности необходимы для обоснования параметров плоских сплочных единиц, обеспечивающих безопасное плавание, при заданных параметрах сплавного хода.

Summary: The calculations performed in the developed computer program designed for automated planning of wood fusion made it possible to obtain patterns of precipitation changes of improved flat cohesive units from such indicators as wood density, depth of the alloy stroke and diameter of round timber from which these cohesive units are assembled. These patterns are necessary to substantiate the parame-

ters of flat cohesive units, ensuring safe navigation, with the specified parameters of the rafting course.

Ключевые слова: компьютерная программа, плоская сплоточная единица, круглые лесоматериалы, осадка, плотность, коэффициент полнодревесности, диаметр, глубина сплавного хода.

Keywords: computer program, flat solid unit, round logs, draft, density, full-wood ratio, diameter, depth of the floating stroke.

Одним из ключевых транспортно-эксплуатационных показателей плоских сплоточных единиц является осадка [1-6], которая регламентирует габаритные размеры сплоточных единиц и обеспечивает безопасность проведения первоначального сплава лесоматериалов. Осадка плоских сплоточных единиц зависит от многих факторов, но основными факторами являются плотность древесины, глубина сплавного хода, диаметр лесоматериалов (в верхнем отрезе), располагаемых в их рядах, коэффициент полнодревесности.

Для детального исследования влияния основных факторов на осадку усовершенствованных плоских сплоточных единиц применялась разработанная специализированная компьютерная программа [7-9], написанная на языке Object Pascal в интегрированной среде программирования Borland Delphi 7. Для выполнения расчетов применялась кнопка «Графики», где в появившееся окно «Панель ввода исходных данных» (рисунок 1, а) заносились параметры, характеризующие сплавной ход, лесоматериалы, сплоточный такелаж. Для построения предназначена кнопка «Построение графиков» (рисунок 1, а). На рисунке 1 обозначено: конструкция плоской сплоточной единицы № 1 – это сплоточная единица (патент РФ № 2777674) [10], конструкция плоской сплоточной единицы № 2 – это сплоточная единица (патент РФ № 210485) [11], а конструкция плоской сплоточной единицы № 3 – это сплоточная единица (патент РФ № 2777676) [12].

Зависимости осадки плоских сплоточных единиц от плотности древесины установлены при условиях: длина лесоматериалов – 6,0 м; диаметр лесоматериалов в верхнем отрезе – 24,0 см; ширина сплавного хода – 10,0 м; глубина сплавного хода – 2,0 м; запас для сплава плоских сплоточных единиц – 2,0 м; донный запас – 0,3 м; средняя сбежистость лесоматериалов – 1,0 см на 1,0 м; глубина сплавного хода – 1,5 м. Для плоской сплоточной единицы № 1 дополнительно учитывались параметры: ширина кольца – 5 см; запас длины прокладки от кольца до ее конца – 0,3 м; коэффициент полнодревесности – 0,49; масса

сплотовочного такелажа – 50 см; расстояние от кольца до места крепления стропы – 0,2 м; предельно допустимое напряжение при изгибе верхних и нижних прокладок – $4,8 \cdot 10^7$ Па; средняя сбежистость лесоматериалов прокладок – 1,0 см на 1,0 м.

Панель ввода исходных данных

Плоская сплотовочная единица №1

№	Лдх, м	Вдх, м	Влх, м	Слх, м	дх, м	гзлх, кг/куб м	гвсзлх, %	гзлв, кг/куб м	гвсзлв, %	дк, см	дзлв, м	Клпсе	дкд, см	дл
1	6	10	1,5	2	0,3	500	50	500	50	5	0,3	0,49	24	
2	6	10	1,5	2	0,3	550	50	550	50	5	0,3	0,49	24	
3	6	10	1,5	2	0,3	600	50	600	50	5	0,3	0,49	24	
4	6	10	1,5	2	0,3	650	50	650	50	5	0,3	0,49	24	
5	6	10	1,5	2	0,3	700	50	700	50	5	0,3	0,49	24	

Плоская сплотовочная единица №2

№	Лдх, м	Вдх, м	Влх, м	Слх, м	дх, м	гзлх, кг/куб м	гвсзлх, %	гзлв, кг/куб м	гвсзлв, %	д135, см	д246, см	Клпсе	длр, мм	дл
1	6	10	1,5	2	0,3	500	50	500	50	24	24	0,705	15	
2	6	10	1,5	2	0,3	550	50	550	50	24	24	0,705	15	
3	6	10	1,5	2	0,3	600	50	600	50	24	24	0,705	15	
4	6	10	1,5	2	0,3	650	50	650	50	24	24	0,705	15	
5	6	10	1,5	2	0,3	700	50	700	50	24	24	0,705	15	

Плоская сплотовочная единица №3

№	Лдх, м	Вдх, м	Влх, м	Слх, м	дх, м	гзлх, кг/куб м	гвсзлх, %	гзлв, кг/куб м	гвсзлв, %	Клпв	Клпв	Клпсе	дкд, см	дл
1	6	10	1,5	2	0,3	500	50	500	50	0,84	0,98	0,805	24	
2	6	10	1,5	2	0,3	550	50	550	50	0,84	0,98	0,805	24	
3	6	10	1,5	2	0,3	600	50	600	50	0,84	0,98	0,805	24	
4	6	10	1,5	2	0,3	650	50	650	50	0,84	0,98	0,805	24	
5	6	10	1,5	2	0,3	700	50	700	50	0,84	0,98	0,805	24	

Построение графиков Выход Справка

а)

Таблица

Плоская сплотовочная единица 1

№	Лдх, м	Вдх, м	Влх, м	Слх, м	дх, м	гзлх, кг/куб м	гвсзлх, %	гзлв, кг/куб м	гвсзлв, %	дк, см	дзлв, м	Клпсе	дкд, см	длр, мм	дл
1	6	10	1,5	2	0,3	700	50	900	50	5	0,3	0,43	10	1	50
2	6	10	1,5	2	0,3	700	50	900	50	5	0,3	0,458	15	1	50
3	6	10	1,5	2	0,3	700	50	900	50	5	0,3	0,47	20	1	50
4	6	10	1,5	2	0,3	700	50	900	50	5	0,3	0,493	25	1	50

Плоская сплотовочная единица 2

№	Лдх, м	Вдх, м	Влх, м	Слх, м	дх, м	гзлх, кг/куб м	гвсзлх, %	гзлв, кг/куб м	гвсзлв, %	д135, см	д246, см	Клпсе	длр, мм	длр, мм	дл
1	6	10	1,5	2	0,3	700	50	900	50	10	10	0,67	15	1	50
2	6	10	1,5	2	0,3	700	50	900	50	15	15	0,685	15	1	50
3	6	10	1,5	2	0,3	700	50	900	50	20	20	0,7	15	1	50
4	6	10	1,5	2	0,3	700	50	900	50	25	25	0,705	15	1	50

Плоская сплотовочная единица 3

№	Лдх, м	Вдх, м	Влх, м	Слх, м	дх, м	гзлх, кг/куб м	гвсзлх, %	гзлв, кг/куб м	гвсзлв, %	Клпв	Клпв	Клпсе	дкд, см	длр, мм	дл
1	6	10	1,5	2	0,3	700	50	900	50	0,95	1,15	0,84	10	1	50
2	6	10	1,5	2	0,3	700	50	900	50	0,9	1,07	0,825	15	1	50
3	6	10	1,5	2	0,3	700	50	900	50	0,85	1	0,81	20	1	50
4	6	10	1,5	2	0,3	700	50	900	50	0,83	0,98	0,803	25	1	50

Совмещенные графики ПСЕ

Графики ПСЕ1			Графики ПСЕ2			Графики ПСЕ3		
$T=f(Vpse)$	$Vpse=f(d)$	$Vpse=f(p)$	$T=f(Vpse)$	$Vpse=f(d)$	$Vpse=f(p)$	$T=f(Vpse)$	$Vpse=f(d)$	$Vpse=f(p)$
$T=f(p)$	$T=f(hlx)$	$T=f(d)$	$T=f(p)$	$T=f(hlx)$	$T=f(d)$	$T=f(p)$	$T=f(hlx)$	$T=f(d)$
$Vpse=f(hlx)$	$Vpse=f(blx)$		$Vpse=f(hlx)$	$Vpse=f(blx)$		$Vpse=f(hlx)$	$Vpse=f(blx)$	

б)

Рисунок 1 – Интерфейс программы:

а – ввод исходных данных; б – вывод результатов

Для плоской сплottedной единицы № 2 дополнительно учитывались: коэффициент полндревесности – 0,70; масса сплottedного такелажа – 50 см; число проволоки в гибкой связи – 15 шт.; предельно допустимое напряжение при растяжении проволоки – $5 \cdot 10^8$ Па; плотность материала проволоки – 7800 кг/м³.

Для плоской сплottedной единицы № 3 дополнительно учитывались: коэффициент полндревесности – 0,80; масса сплottedного такелажа – 50 см; число проволоки в гибкой связи – 15 шт.; предельно допустимое напряжение при растяжении проволоки – $5 \cdot 10^8$ Па; плотность материала проволоки – 7800 кг/м³; коэффициенты уменьшения диаметра для внутренних и наружных поперечных прокладок соответственно – 0,84 и 0,99. Варьирование плотности древесины осуществлялось от 500 кг/м³ с шагом 50 кг/м³.

Графики зависимости осадки плоских сплottedных единиц от плотности древесины изображены на рисунке 2. Они представляют собой ломаные линии, из-за отсутствия возможности укладки рядов круглых лесоматериалов на всю расчетную высоту плоских сплottedных единиц, когда сумма среднего диаметра круглых лесоматериалов в рядах превышает расчетную максимально допустимую высоту плоских сплottedных единиц. Расчетная максимально допустимая высота сплottedных единиц зависит от минимальной глубины сплавного хода и плотности древесины используемых лесоматериалов. При этом из приведенных графиков на рисунке 2 следует, что наибольшая (критическая) осадка у плоской сплottedной единицы № 3 присутствует при плотности древесины 500 кг/м³. При других показателях плотности древесины осадка данной сплottedной единицы изменяется в допустимых пределах, обеспечивающих минимальную вероятность образования затора сплаваемых плоских сплottedных единиц на сплавном ходе водного объекта. Следовательно, по отношению разных показателей плотности древесины, находящейся в плоских сплottedных единицах, наиболее целесообразно использовать плоскую сплottedную единицу № 3 (патент РФ № 2777676 [12]), так как она содержит в себе максимальный объем древесины при соответствии габаритам водного пути [8, 9].

Зависимости осадки плоских сплottedных единиц от глубины водного пути определены при условиях: длина лесоматериалов – 6,0 м; диаметр лесоматериалов в верхнем отрезе – 20,0 см; плотность древесины повышенной плавучести – 700,0 кг/м³; плотность древесины ограниченной плавучести – 800,0 кг/м³; содержание древесины повышенной плавучести – 50,0 %; содержание древесины ограниченной плавучести – 50,0 %; ширина сплавного хода – 10,0 м; запас для сплава плоских сплottedных единиц – 2,0 м; донный запас – 0,3 м;

средняя сбежистость лесоматериалов – 1,0 см на 1,0 м. Коэффициент полноресности для плоских сплоточных единиц № 1, № 2 и № 3 принимался соответственно 0,47, 0,7 и 0,81. При этом для плоской сплоточной единицы № 3 коэффициенты уменьшения диаметра для внутренних и наружных поперечных прокладок приняты 0,85 и 1,0. Глубина сплавного хода равна 1,0 м и варьируется с шагом 0,1 м. Остальные показатели плоских сплоточных единиц применялись аналогично параметрам плоских сплоточных единиц, используемых при построении графиков зависимости осадки от плотности древесины. Графики установленных зависимостей показаны на рисунке 3.



Рисунок 2 – Графики зависимости осадки плоских сплоточных единиц от плотности древесины



Рисунок 3 – Графики зависимости осадки плоских сплоточных единиц от глубины сплавного хода

По графикам рисунка 3 видно, что при увеличении глубины сплавного хода осадка увеличивается, расчетная осадка плоской сплотовой единицы № 3 не превышает допустимую осадку. Наименьшую осадку имеет плоская сплотовая единица № 1, но она включает в себя наименьший объем древесины. Значит, при разных показателях глубины сплавного хода целесообразно использовать плоскую сплотовую единицу (патент РФ № 2777676 [12]).

При установлении зависимости осадки плоских сплотовых единиц от диаметра лесоматериалов в верхнем отрезе приняты следующие данные: длина лесоматериалов – 6,0 м; плотность древесины повышенной плавучести – 700,0 кг/м³; плотность древесины ограниченной плавучести – 800,0 кг/м³; содержание древесины повышенной плавучести – 50,0 %; содержание древесины ограниченной плавучести – 50,0 %; ширина сплавного хода – 10,0 м; глубина сплавного хода – 1,5 м; запас для сплава плоских сплотовых единиц – 2,0 м; донный запас – 0,3 м; средняя сбежистость лесоматериалов – 1,0 см на 1,0 м. Диаметр лесоматериалов варьировался от 10,0 см до 55,0 см через 5 см. Коэффициенты полндревесности плоских сплотовых единиц приняты: № 1 – по [1], № 2 – по [2], № 3 – по [3]. Коэффициенты уменьшения диаметра для внутренних и наружных поперечных прокладок для плоской сплотовой единицы № 3 приняты согласно данным, приведенным в работе [6]. Оставшиеся показатели плоских сплотовых единиц применялись, такими же, как при построении графиков зависимости осадки от плотности древесины. Полученные графики зависимости приведены на рисунке 4.



Рисунок 4 – Графики зависимости осадки плоских сплотовых единиц от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе

Графические зависимости, представленные на рисунке 4, являются ломаными линиями, из-за отсутствия возможности укладки рядов круглых лесоматериалов на всю расчетную высоту плоских сплотовых единиц, когда сумма среднего диаметра круглых лесоматериалов в рядах превышает расчетную максимально допустимую высоту плоских сплотовых единиц. Также влияние на укладку количества рядов круглых лесоматериалов на всю расчетную высоту плоских сплотовых единиц оказывает изменение среднего диаметра круглых лесоматериалов в рядах. Из приведенных графиков, следует, что у плоской сплотовой единицы № 3 наибольшая (критическая) осадка будет при диаметре лесоматериалов в верхнем отрезе от 10,0 см до 15,0 см, а при диаметре лесоматериалов от 15,0 см по 55,0 см осадка является допустимой. Так как в реальных условиях сплавляемые лесоматериалы имеют диаметр 15,0...35,0 см, при которых плоская сплотовая единица № 3 характеризуется допустимой осадкой и содержит максимальный объем древесины [8, 9], то целесообразно использовать плоскую сплотовую единицу (патент РФ № 2777676 [12]).

Список литературы

1. Васильев, В.В. Исследование коэффициента полндревесности плоской сплотовой единицы / В.В. Васильев // Современный лесной комплекс страны: актуальные векторы развития: матер. Всероссийской науч.-практ. конф.; г. Воронеж, 5 октября 2023 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГЛТУ имени Г.Ф. Морозова», 2023. – С. 166–174. – URL: <https://vgltu.ru/nauka/konferencii/2023/vserossijskaya-nauchno-prakticheskayakonferenciya-sovremennyj-lesnoj-kompleks-strany-aktualnye-vektory-razvitiya/>.
2. Васильев, В.В. Исследование коэффициента полндревесности усовершенствованной плоской сплотовой единицы / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев // Resources and Technology. – 2025. – № 1, Т. 22. – С. 90–104. – URL: <https://rt.petrstu.ru/journal/article.php?id=7503>. – DOI: 10.15393/j2.art.2024.8163.
3. Васильев, В.В. Экспериментальное определение коэффициента полндревесности усовершенствованной плоской сплотовой единицы / В.В. Васильев // Resources and Technology. – 2023. – № 4, Т. 20. – С. 28–44. – URL: <https://rt.petrstu.ru/journal/article.php?id=7103>. – DOI: 10.15393/j2.art.2023.7103.
4. Васильев, В.В. Расчет прочности модернизированной плоской сплотовой единицы / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев // Resources and Technology. – 2023. – № 1, Т. 20. – С. 1-25. – URL: <https://rt.petrstu.ru/journal/article.php?id=6623>. – DOI: 10.15393/j2.art.2023.6623.

5. Васильев, В.В. Расчет транспортно-эксплуатационных показателей усовершенствованной плоской сплottedной единицы / В.В. Васильев // Resources and Technology. – 2022. – № 4, Т. 19. – С. 1-22. – URL: <https://rt.petrstu.ru/journal/article.php?id=6365>. –DOI: 10.15393/j2.art.2022.6365.

6. Васильев, В.В. Обоснование параметров поперечных прокладок усовершенствованной плоской сплottedной единицы / В.В. Васильев // Инновационные технологии и технические средства для АПК: матер. междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов; г. Воронеж, 9-10 ноября 2023 года. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2023. – Ч. II. –С. 40–48.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022685549 РФ. Программа для планирования сплава древесины в плоских сплottedных единицах / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев, В.А. Морковин, Е.В. Поздняков; заявл. 24.12.2022 ;опубл. 24.12.2022 ; правообладатель ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова».

8. Васильев, В.В. Автоматизированное планирование сплава лесоматериалов в плоских сплottedных единицах / В.В. Васильев // Современные вопросы автоматизации и систем управления в технических, организационных и экономических системах: матер. национальной науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых, г. Воронеж, 27 марта 2023 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГЛТУ имени Г.Ф. Морозова», 2023. – С. 13–23.

9. Васильев, В.В. Автоматизация планирования первоначального сплава лесоматериалов в плоских сплottedных единицах / В.В. Васильев // Resources and Technology. – 2024. – Т. 21, № 2. – С. 15–31. – URL: <https://rt.petrstu.ru/journal/article.php?id=7223>. –DOI: 10.15393/j2.art.2024.7223.

10. Пат. 2777674 РФ, МПК В65В 35/02, В65G 69/20. Плоская сплottedная единица / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев, В.А. Морковин, В.В. Абрамов, Е.В. Поздняков; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова». – № 2021140068; заявл. 30.12.2021; опубл. 08.08.2022, бюл. № 22. – 8 с.

11. Пат. 210485 РФ, МПК В 63 В 35/62. Плоская сплottedная единица / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев, В.А. Морковин, В.В. Абрамов, Е.В. Поздняков; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова». – № 2021125409; заявл. 19.10.2020; опубл. 18.04.2022, бюл. № 11. – 5 с.

12. Пат. 2777676 РФ, МПК В65В 35/02. Плоская сплottedная единица / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев, В.А. Морковин, В.В. Абрамов, Е.В. Поздняков;

заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова». – № 2021140062; заявл. 30.12.2021; опубл. 08.08.2022, бюл. № 22. – 8 с.

References

1. Vasiliev, V.V. Investigation of the coefficient of full-timbering of a flat cohesive unit / V.V. Vasiliev // Modern forest complex of the country: actual vectors of development: mater. All-Russian Scientific and Practical Conference; Voronezh, October 5, 2023 – Voronezh: VGLTU named after G.F. Morozov, 2023. – Pp. 166-174. – URL: <https://vgltu.ru/nauka/konferencii/2023/vserossiyskaya-nauchno-prakticheskayakonferenciya-sovremennyyj-lesnoj-kompleks-strany-aktualnye-vektory-razvitiya/>.
2. Vasiliev, V.V. Investigation of the full-wood coefficient of an improved flat cohesive unit / V.V. Vasiliev, D.N. Afonichev // Resources and Technology. – 2025. – No. 1, vol. 22. – Pp. 90-104. – URL: <https://rt.petsu.ru/journal/article.php?id=7503> . - DOI: 10.15393/j2.art.2024.8163.
3. Vasiliev, V.V. Experimental determination of the woodiness coefficient of an improved flat cohesive unit / V.V. Vasiliev // Resources and Technology. – 2023. – No. 4, Vol. 20. – Pp. 28-44. – URL: <https://rt.petsu.ru/journal/article.php?id=7103> . - DOI: 10.15393/j2.art.2023.7103.
4. Vasiliev, V.V. Calculation of the strength of a modernized flat split unit / V.V. Vasiliev, D.N. Afonichev // Resources and Technology. – 2023. – No. 1, vol. 20. – Pp. 1-25. – URL: <https://rt.petsu.ru/journal/article.php?id=6623> . - DOI: 10.15393/j2.art.2023.6623.
5. Vasiliev, V.V. Calculation of transport and operational indicators of an improved flat cohesive unit / V.V. Vasiliev // Resources and Technology. – 2022. – No. 4, vol. 19. – Pp. 1-22. – URL: <https://rt.petsu.ru/journal/article.php?id=6365> >. - DOI: 10.15393/j2.art.2022.6365.
6. Vasiliev, V.V. Substantiation of the parameters of transverse gaskets of an improved flat cohesive unit / V.V. Vasiliev // Innovative technologies and technical means for the agroindustrial complex: mater. International Scientific and Practical Conference of young scientists and specialists; Voronezh, November 9-10, 2023. Voronezh: Voronezh State Pedagogical University, 2023. – Part II. – Pp. 40-48.
7. Certificate of state registration of the computer program No. 2022685549 of the Russian Federation. A program for planning wood fusion in flat cohesive units / V.V. Vasiliev, D.N. Afonichev, V.A. Morkovin, E.V. Pozdnyakov ; application no.

12/24/2022 ; published no. 12/24/2022 ; copyright holder of Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov.

8. Vasiliev, V.V. Automated planning of timber materials fusion in flat cohesive units / V.V. Vasiliev // Modern issues of automation and control systems in technical, organizational and economic systems: mater. National Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists, Voronezh, March 27, 2023. Voronezh: FGBOU VO "VGLTU named after G.F. Morozov", 2023. – Pp. 13-23.

9. Vasiliev, V.V. Automation of planning of the initial timber alloy in flat cohesive units / V.V. Vasiliev // Resources and Technology. – 2024. – Vol. 21, No. 2. – Pp. 15-31. – URL: <https://rt.petrstu.ru/journal/article.php?id=7223> . -DOI: 10.15393/j2.art.2024.7223.

10. Pat. 2777674 of the Russian Federation, IPC B65B 35/02, B65G 69/20. Flat cohesive unit / V.V. Vasiliev, D.N. Afonichev, V.A. Morkovin, V.V. Abramov, E.V. Pozdnyakov; applicant and patent holder of Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov. – No. 2021140068; application no. 12/30/2021; published 08/08/2022, bul. no. 22. – 8 p.

11. Patent 210485 of the Russian Federation, IPC B 63 B 35/62. Flat cohesive unit / V.V. Vasiliev, D.N. Afonichev, V.A. Morkovin, V.V. Abramov, E.V. Pozdnyakov; applicant and patent holder of Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov. – No. 2021125409; application no. 10/19/2020; published on 04/18/2022, byul. no. 11. – 5 p.

12. Pat. 2777676 RF, IPC B65B 35/02. Flat cohesive unit / V.V. Vasiliev, D.N. Afonichev, V.A. Morkovin, V.V. Abramov, E.V. Pozdnyakov; applicant and patent holder of Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov. – No. 2021140062; application no. 12/30/2021; published 08/08/2022, bul. no. 22. – 8 p.

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В ХРАНИЛИЩАХ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ
RESEARCH AND DEVELOPMENT OF AUTOMATED MICROCLIMATE
MANAGEMENT SYSTEMS IN AGRICULTURAL PRODUCT STORAGE**

Грачева А.О., магистрант

Грибанов А.А., к.т.н., доцент

Мещерякова А.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

vgltaapp@mail.ru

Gracheva A.O., Master's student

Gribanov A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

Meshcheryakova A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: Статья посвящена исследованию и разработке автоматизированной системы управления микроклиматом (АСУМ) для сельскохозяйственных хранилищ, направленной на повышение точности контроля температуры, влажности и концентрации CO₂. В работе представлена гибридная модель управления, сочетающая ПИД-регуляторы для оперативной коррекции параметров и оптимизации энергопотребления. Реализация системы подтверждена моделированием в MATLAB/Simulink, демонстрирующим снижение потерь зерновых культур с 12 % до 4 % за счёт стабилизации микроклимата.

Summary: The paper is devoted to the research and development of an automated microclimate control system (ACCS) for agricultural storage facilities aimed at improving the accuracy of temperature, humidity and CO₂ concentration control. The paper presents a hybrid control model combining PID controllers for operational parameter correction and energy optimization. The implementation of the system is

confirmed by MATLAB/Simulink simulation, demonstrating the reduction of grain crop losses from 12% to 4% due to microclimate stabilization.

Ключевые слова: автоматизированная система управления микроклиматом, сельскохозяйственные хранилища, модель управления, энергоэффективность, контроль температуры и влажности.

Keywords: automated microclimate control system, agricultural storages, control model, energy efficiency, temperature and humidity control.

Безусловно, сохранность сельскохозяйственной продукции при длительном хранении критически зависит от точного поддержания параметров микроклимата [1]. Например, для большинства зерновых культур оптимальными считаются температура в диапазоне 2-4°С и относительная влажность 60-65 %. Для овощей, таких как картофель, требуется более высокая влажность – 85-90 % при температуре 3-5°С [2-3]. Однако традиционные методы управления, основанные на ручном регулировании или простой автоматике, обеспечивают точность контроля температуры лишь в пределах ± 2 °С, а влажности – ± 10 %, что приводит к потерям до 30 % урожая. В частности, несвоевременное обнаружение колебаний CO₂ выше 1500 ppm в зернохранилищах провоцирует развитие патогенной микрофлоры.

В условиях растущих требований к энергоэффективности актуальным становится внедрение интеллектуальных систем. Так, разработанная в рамках данной работы АСУМ интегрирует распределенную сеть IoT-датчиков с точностью измерения температуры $\pm 0,3$ °С в диапазоне от -20 до +50°С и влажности ± 2 % (ограничение 10-95%), а также газовых сенсоров для мониторинга CO₂ и O₂ с погрешностью ± 50 ppm. Исполнительные механизмы, включая частотно-регулируемые вентиляторы мощностью 1,5-5 кВт и тепловые насосы, управляются адаптивными алгоритмами на базе нейросетей, обученных на датасетах объемом 10⁶ точек данных. Система демонстрирует снижение энергопотребления на 25-30% по сравнению с аналогами за счет оптимизации циклов включения оборудования с шагом 5-15 минут, что подтверждается компьютерным моделированием в среде MATLAB/Simulink.

Следует отметить, что существующие исследования в области управления микроклиматом хранилищ демонстрируют ряд ограничений. Во-первых, традиционные системы, такие как вентиляционные установки с ПИД-регуляторами, обеспечивают стабильность температуры лишь в диапазоне $\pm 1,5$ °С, но игнорируют корреляцию с влажностью, что приводит к конден-

сации при достижении точки росы (например, при 12°C и 80 %). Во-вторых, современные цифровые решения не способны оперативно реагировать на резкие изменения микроклимата, такие как скачки влажности до 20 % за час во время дождей.

Более того, методы машинного обучения, например, сверточные нейросети с точностью прогноза 92 % на тестовых выборках, показывают высокую эффективность в лабораторных условиях. Однако их внедрение в реальные хранилища затруднено из-за задержек обработки данных (≥ 30 секунд) и необходимости калибровки под конкретные условия – например, учет тепловыделения зерна при влажности ≥ 18 %. В этой связи предлагаемая в работе гибридная модель, сочетающая физические уравнения теплопереноса и предиктивную аналитику, позволяет сократить ошибку прогнозирования до 0,8 % при времени отклика системы < 10 секунд.

Процессы в хранилище могут быть описаны системой дифференциальных уравнений, интегрирующей теплообмен, испарение влаги и динамику концентрации CO₂. Теплообмен между воздухом, продукцией и ограждающими конструкциями моделируется уравнениями:

$$\frac{dT_B}{dt} = \frac{Q_T}{C_B}, \quad \frac{dT_{\Pi}}{dt} = \frac{Q_T}{C_{\Pi}}, \quad \frac{dT_C}{dt} = \frac{Q_T}{C_C},$$

где Q_T – поток теплоты, C_B, C_{Π}, C_C – теплоемкости воздуха, продукции и стен. Испарение влаги с поверхности продукции определяется уравнением:

$$\frac{dH}{dt} = k \cdot (H_p - H) \cdot A,$$

где H_p – предельная влажность, k – коэффициент испарения, A – площадь поверхности. Изменение концентрации CO₂ вследствие дыхания растительных организмов:

$$\frac{dC_{CO_2}}{dt} = R_B - R_Y,$$

где R_B – скорость выделения CO₂, R_Y – скорость его удаления вентиляцией. Общая система уравнений объединяет зависимости:

$$\frac{dT_B}{dt} = f_1(T_B, T_{\Pi}, T_C, H), \quad \frac{dH}{dt} = f_2(T_B, H), \quad \frac{dC_{CO_2}}{dt} = f_3(C_{CO_2}, T_B).$$

Реализован гибридный регулятор, сочетающий ПИД-контроллер для оперативной коррекции температуры и влажности с нейронной сетью прямого распространения, обеспечивающей долгосрочный прогноз и оптимизацию энергопотребления. Моделирование выполнено в MATLAB/Simulink с исполь-

зованием библиотеки Simscape для физической валидации. Обучение нейросети проведено на синтетических данных, сгенерированных в диапазонах реальных параметров хранилищ.

Внедрение АСУМ обеспечило значительное улучшение контроля климатических параметров, что подтверждается сокращением колебаний температуры и влажности в хранилище (рисунок 1).



Рисунок 1 – Графики улучшения контроля климатических параметров

Температурный режим стабилизировался на уровне отклонений не более $\pm 0,5^\circ\text{C}$, что значительно лучше по сравнению с ручным управлением, где наблюдались колебания до $\pm 2^\circ\text{C}$. Аналогичные улучшения произошли с контролем влажности: её колебания снизились до $\pm 3\%$, тогда как ранее они достигали $\pm 8\%$. Графическое сравнение динамики температуры за трое суток наглядно демонстрирует разницу между ручным управлением, характеризующимся сильными колебаниями, и точной работой системы автоматического управления.

Оптимизация работы климатической техники привела к существенному снижению энергозатрат. Благодаря динамическому регулированию мощности оборудования пиковое потребление энергии удалось сократить с 25 кВт до 18 кВт, что позволило достичь экономии энергоресурсов на уровне 25 %.

Повышение качества хранения продукции стало ещё одним важным результатом внедрения системы. Виртуальные эксперименты показали, что потери зерновых культур за сезон хранения снизились с 12 % до 4 %, что свидетельствует о значительном улучшении условий хранения и минимизации негативного воздействия внешних факторов.

Список литературы

1. Арьков, Д.П. Разработка автоматизированной системы поддержки оптимальных условий хранения картофеля / Д.П. Арьков // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации : Материалы Международной научно-практической конференции, Волгоград, 09–11 февраля 2022 года.– Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2022. – Т. II.–С. 414-420.

2. Прасов, М.Т. Повышение достоверности контроля параметров в АСУ микроклимата с помощью интеллектуальных датчиков / М.Т. Прасов, Д.В. Агарков // Информационные системы и технологии. – 2010. – № 6(62). – С. 123-126.

3. Башняк, С.Е. Автоматизация системы микроклимата в картофелехранилище / С.Е. Башняк // Приоритетные направления развития сельскохозяйственной науки и практики в АПК : материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции : в 3 т. – пос. Персиановский: ФГБОУ ВО«Донской государственный аграрный университет», 2021. – Т. I. –С. 230-234.

References

1. Arykov, D.P. Development of an automated system to support optimal conditions of potato storage / D.P. Arykov // Innovative technologies in agroindustrial complex in the conditions of digital transformation : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Volgograd, February 09-11, 2022. – Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2022. –Vol. II. – Pp. 414-420.

2. Prasov, M.T. Increasing the reliability of parameter control in ACS of microclimate with the help of intelligent sensors / M.T. Prasov, D.V. Agarkov // Information systems and technologies. – 2010. – № 6(62). –Pp. 123-126.

3. Bashnyak, S.E. Automation of the microclimate system in potato storage / S. E. Bashnyak // Priority directions of development of agricultural science and practice in the agroindustrial complex : proceedings of the All-Russian (national) scientific-practical conference : in 3 vol. – Persianovsky settlement: Donskoy State Agrarian University, 2021. – Vol. I. – Pp. 230-234.

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE BOILER PLANT AUTO-
MATION SYSTEM OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE**

Грибанов А.А., к.т.н., доцент

Лаврик А.А., магистрант

Мещерякова А.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

vgltaapp@mail.ru

Gribanov A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

Lavrik A.A., Master's student

Meshcheryakova A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье оценивается эффективность системы автоматизации котельной установки промышленного предприятия, с фокусировкой на температуре насыщенного пара как ключевом параметре. Проведен анализ зависимости температуры пара от давления с использованием уравнения Антуана, позволяющего прогнозировать взаимосвязь между этими параметрами. Проведена оптимизация параметров регуляторов, что позволило повысить среднюю температуру пара в барабане котла на 3,4 °С, улучшив точность регулирования и сократив время переходных процессов. Результаты подтверждают повышение энергоэффективности котельной за счет увеличения энергии пара, улучшения теплопередачи и снижения расхода топлива. Разработанная модель в MatLab/Simulink и переходная характеристика подтверждают стабильность и надежность системы.

Summary: The paper evaluates the efficiency of the automation system of a boiler plant of an industrial enterprise, focusing on the saturated steam temperature as

a key parameter. The dependence of steam temperature on pressure is analyzed using Antoine's equation, which allows predicting the relationship between these parameters. Optimization of regulator parameters was carried out, which allowed to increase the average steam temperature in the boiler drum by 3.4 °C, improving the regulation accuracy and reducing the transient time. The results confirm the improvement of the energy efficiency of the boiler plant by increasing steam energy, improving heat transfer and reducing fuel consumption. The developed MatLab/Simulink model and transient response confirm the stability and reliability of the system

Ключевые слова: автоматизация котельной, температура насыщенного пара, система автоматизации, уравнение Антуана, эффективность, давление пара, снижение потребления топлива, стабильность работы.

Keywords: boiler room automation, saturated steam temperature, automation system, Antoine's equation, efficiency, steam pressure, reduction of fuel consumption, stability of operation.

Основным показателем для анализа эффективности АСУ котельной является температура насыщенного пара, поскольку она напрямую связана с производительностью и стабильностью работы котельной установки [1].

Известно, что насыщенный пар – это пар, находящийся в состоянии равновесия с жидкостью при данной температуре и давлении. Температура насыщенного пара может превышать 100°C, поскольку она напрямую зависит от давления. При атмосферном давлении (1 атм) вода закипает при 100°C, и образующийся пар также имеет эту температуру. Однако при повышении давления, например, в котельной установке, температура кипения воды и образования насыщенного пара увеличивается. Это связано с тем, что для поддержания состояния насыщенного пара при высоком давлении требуется больше тепла, что повышает его температуру. В ходе анализа реальных данных температуры пара до и после оптимизации регуляторов будет оцениваться улучшение точности поддержания температуры, снижение колебаний и уменьшение времени отклика системы [2].

Реальные данные, снятые датчиком температуры (термопара) в барабане котла и математическая модель, основанная на уравнении Антуана, приведены на рисунке 1.

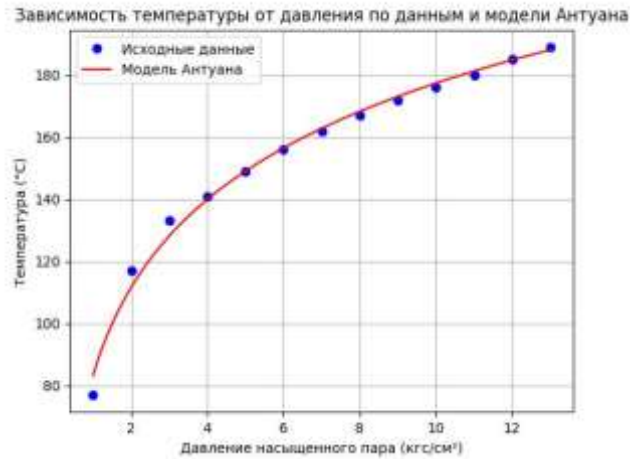


Рисунок 1 – Зависимость температуры пара в барабане котла ДКВр от давления по данным эксперимента

Уравнение Антуана позволяет прогнозировать давление пара при заданной температуре и наоборот. Оно может быть представлено следующим образом:

$$T = \frac{B}{A - \lg(P_{\text{пар}})} - C,$$

где T – температура жидкости; $P_{\text{пар}}$ – давление пара; A, B, C – неизвестные коэффициенты (они являются специфическими для каждой жидкости и определяются на основе экспериментальных данных в определенных температурных диапазонах).

Преобразуем уравнение Антуана:

$$T = \frac{B + AC}{A + \lg(P_{\text{пар}})}.$$

Для нахождения коэффициентов A, B и C воспользуемся методом наименьших квадратов. Для этого проведем замену $x_i = \lg(P_{\text{пар}})$:

$$T_i = \frac{B + AC}{A + x_i}.$$

После умножения обеих сторон на $A + x_i$ получим линейное уравнение вида:

$$AT_i + T_i x_i - B - AC = 0.$$

Функция ошибки имеет вид:

$$S(A, B, C) = \sum_{i=1}^n \left(T_i - \frac{B + AC}{A + \lg(P_{\text{пар}})} \right)^2.$$

Далее следует воспользоваться частными производными функции ошибки $S(A, B, C)$. Система дифференциальных уравнений будет следующей:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \left[T_i - \frac{B + AC}{A + x_i} \right] \cdot \frac{1}{A + x_i} = 0, \\ \sum_{i=1}^n \left[T_i - \frac{B + AC}{A + x_i} \right] \cdot \left(\frac{B + AC}{(A + x_i)^2} - \frac{C}{A + x_i} \right) = 0, \\ \sum_{i=1}^n \left[T_i - \frac{B + AC}{A + x_i} \right] \cdot \frac{A}{A + x_i} = 0, \end{cases}$$

Согласно этим уравнениям, используя численные методы и программу на языке Python, найдем коэффициенты A , B , C .

Коэффициенты уравнения Антуана зависимости температуры пара в барабане котла от давления по данным эксперимента следующие: $A = 2789,79$; $B = 731946442,16$; $C = 262282,51$.

Коэффициенты уравнения Антуана зависимости температуры пара в барабане котла от давления по результатам оптимизации АСУ котлом ДКВр следующие: $A = 1822,53$; $B = 318433151,00$; $C = 174635,41$.

График зависимости температуры пара от давления после оптимизации параметров регуляторов приведен на рисунке 2.

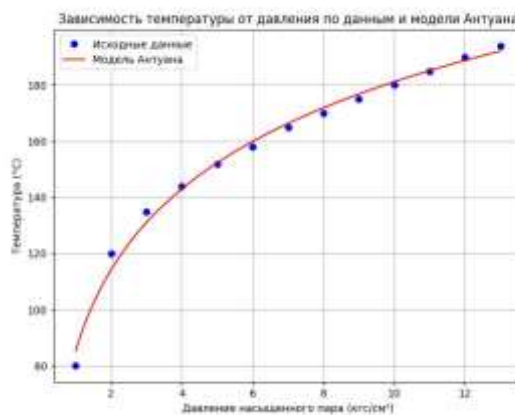


Рисунок 2 – Зависимость температуры пара в барабане котла от давления по результатам оптимизации

Сравнивая данные по температуре пара до и после оптимизации, получим графики на рисунке 3.

Из рисунка 3 следует, что температура пара в барабане котла увеличилась в среднем на 2,2 %. Такое увеличение температуры указывает на успешность проведенной оптимизации. Следует отметить, что более высокая температура пара способствует повышению его энергии и увеличению эффективности работы котла в целом [3]. Кроме того, это изменение может способствовать снижению потребления газа.

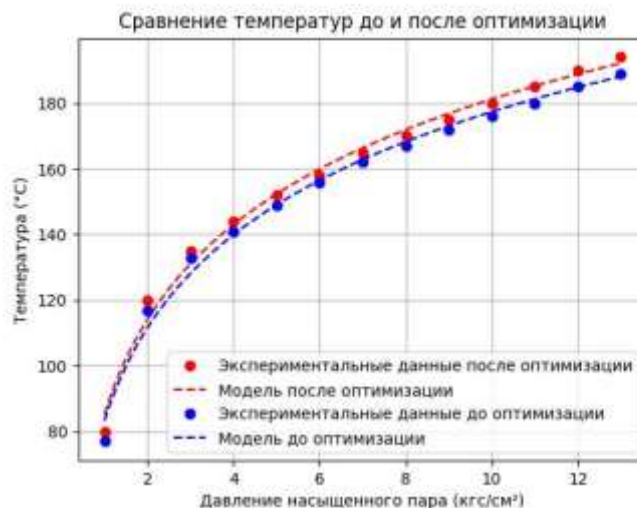


Рисунок 3 – Зависимость температуры пара в барабане котла от давления до и после оптимизации

Оценим эффективность разработанных моделей зависимости температуры пара в барабане котла от давления до и после оптимизации построением модели в MatLab/Simulink (рисунок 4).

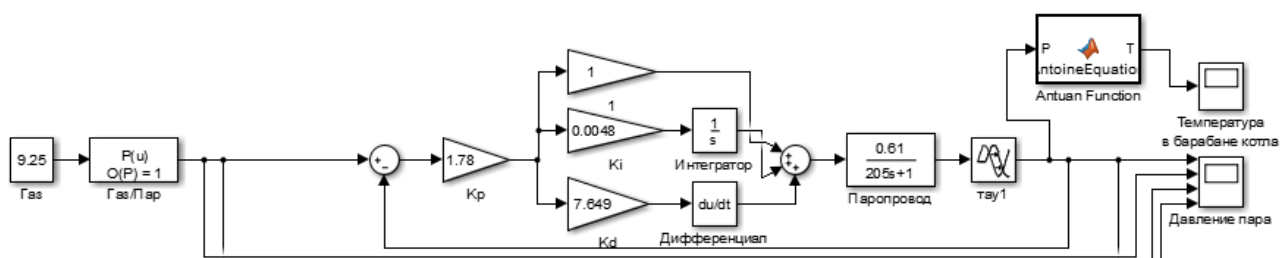


Рисунок 4 – Модель MatLab/Simulink температуры в барабане котла ДКВр

Полученная переходная характеристика подтверждает высокую точность регулирования температуры и малое время переходного процесса после оптимизации параметров ПИД-регуляторов (рисунок 5).

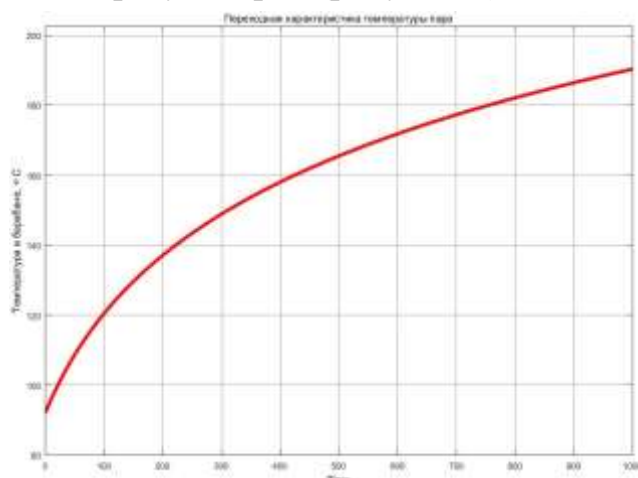


Рисунок 5 – Переходная характеристика температуры пара в барабане котла ДКВр

Таким образом, проведенная в работе оценка методом математического и компьютерного моделирования в MatLab/Simulink позволила сделать вывод о том, что настроенная АСУ по нашей методике повысила эффективность работы котельной установки на базе ДКВр на 2,2 %.

Список литературы

1. Мамышев, Р.Э. Система автоматизации котельных установок / Р.Э. Мамышев // Modern Science. – 2020. – № 11-1. – С. 415-419.

2. Лаврик, А.А. Исследование и разработка системы комплексной автоматизации котельной установки промышленного предприятия / А.А. Лаврик, А.А. Грибанов // Современные проблемы автоматизации, роботизации и управления в технических, организационных, экономических системах : Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых и Всероссийской научно-практической конференции преподавателей и специалистов, Воронеж, 26–29 марта 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 61-65. – DOI: 10.58168/ROBOTICS2024_61-65.

3. Лаврик, А.А. Исследование системы автоматизации котельной установки промышленного предприятия / А.А. Лаврик, А.А. Грибанов, А.А. Мещерякова // Информационные технологии. Физика и математика : материалы 88-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 29 января – 16 февраля 2024 года. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2024. – С. 188-191.

References

1. Mamyshev, R. E. Automation system of boiler plants / R. E. Mamyshev // Modern Science. – 2020. – № 11-1. – Pp. 415-419.

2. Lavrik, A.A. Research and development of the system of complex automation of the boiler plant of the industrial enterprise / A.A. Lavrik, A.A. Griбанov // Modern problems of automation, robotization and control in technical, organizational, economic systems : Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference of students and young scientists and All-Russian scientific-practical conference of teachers and specialists, Voronezh, March 26-29, 2024. — Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov. G.F. Morozov, 2024. – Pp. 61-65. – DOI: 10.58168/ROBOTICS2024_61-65.

3. Lavrik, A.A. Research of the automation system of the boiler plant of the industrial enterprise / A.A. Lavrik, A.A. Gribanov, A.A. Meshcheriakova // Information technologies. Physics and Mathematics : proceedings of the 88th scientific and technical conference of the teaching staff, researchers and graduate students (with international participation), Minsk, January 29 - February 16, 2024. – Minsk: Belarusian State Technological University, 2024. – Pp. 188-191.

ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

SECURITY ISSUES OF THE INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS

Евдокимова С.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

evdsv@mail.ru

Evdokimova S.A., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В соответствии с концепцией Индустрии 4.0 стремительно развивается промышленный интернет вещей, обеспечивающий интеграцию компьютерных сетей и автоматизацию производства для удаленного управления, контроля и сбора данных. Использование информационных и сетевых технологий, облачных систем обработки данных влечет за собой возможности кибератак. В работе рассматриваются основные угрозы безопасности промышленного интернета вещей.

Summary: In accordance with the concept of Industry 4.0, the industrial Internet of Things is rapidly developing, providing the integration of computer networks and automation of production for remote control, monitoring and data collection. The use of information and network technologies, cloud-based data processing systems entails the possibility of cyberattacks. The paper considers the main security threats of the industrial Internet of Things.

Ключевые слова: промышленный интернет вещей, информационная безопасность, угрозы безопасности, ISO 27001, IEC 62443.

Keywords: IIoT, information security, security threats, ISO 27001, IEC 62443.

Промышленный интернет вещей (IndustrialInternetofThings, IIoT) – это система объединенных компьютерных сетей и подключенных промышленных

(производственных) объектов со встроенными датчиками и программным обеспечением для сбора и обмена данными, с возможностью удаленного контроля и управления в автоматизированном режиме [1]. IIoT позволяет автоматически управлять производственными процессами за счет объединения информационных и операционных технологий. Взаимосвязанное интеллектуальное оборудование, сенсорные устройства и компьютерные сети обеспечивают автоматизированный сбор и анализ данных, поддержку принятия решений для повышения производительности, эффективности распределения и управления всеми видами ресурсов и работы предприятия в целом.

Исходные данные поступают от различных датчиков, машин, оборудования и других устройств, подключенных к сети, и представляют собой цифровой отпечаток производственного процесса. Например, данные о состоянии оборудования, производственные показатели, параметры контроля качества продукции и другие; геоданные о местоположении транспортных средств, сотрудников, роботов и другого оборудования на территории предприятия; данные об энергопотреблении (расходы топлива на технологические процессы; объемы используемой воды в технологических операциях и т.д.), параметры окружающей среды (влажность, освещенность, уровень загрязнения воздуха), видеозаписи камер наблюдений и т.п.

Собранные данные передаются в централизованную облачную систему или базу данных и с помощью программного обеспечения используются для мониторинга работы машин, анализа показателей работы автоматизированной системы, выявления узких мест в производственных процессах.

Основными проблемами, которые возникают при внедрении IIoT, являются проблемы безопасности, конфиденциальности данных и обеспечения надежности функционирования всех устройств и системы в целом. IIoT предполагает совместное использование и передачу данных между несколькими устройствами, что требует защиту данных от внешних кибератак и угроз. В качестве каналов кибератак злоумышленники могут использовать удаленное подключение к отдельным устройствам, атаки на серверы и сегменты корпоративных промышленных сетей, уязвимости каналов технической поддержки и др. [2-5].

Для IIoT большое значение имеет непрерывность бизнес-процессов, поэтому особенно важно поддерживать бесперебойность работы устройств. Нарушения целостности данных может привести к неправильным решениям и потенциально опасным ситуациям, поэтому достоверность данных играет

большое значение для обеспечения безопасной и эффективной работы промышленных систем.

Описание основных видов угроз безопасности промышленного интернета вещей приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Основные угрозы безопасности ИИТ

Вид угрозы безопасности	Описание
Уязвимости устройств	Многие устройства ИИТ имеют ограниченные вычислительные ресурсы и часто разрабатываются с минимальными затратами на безопасность. Это делает их уязвимыми для таких атак, как инъекции вредоносного кода, подбор паролей, отсутствие шифрования данных, передаваемых между устройствами и др.
Недостаточная сегментация сети	Если промышленные сети недостаточно сегментированы, то компрометация одного устройства, может привести к взлому всей системы управления.
Отсутствие обновлений ПО	Часто на предприятиях игнорируется необходимость установки обновлений ПО, или производители оборудования не предоставляют регулярные обновления ПО, что делает устройства ИИТ уязвимыми
Проблемы с аутентификацией и авторизацией	На предприятиях часто используются стандартные пароли оборудования, отсутствует двухфакторная аутентификация, что упрощает подбор паролей и несанкционированный доступ к устройствам и данным
Слабая защита данных	Передача данных между устройствами и системами часто осуществляется без шифрования, что делает данные уязвимыми для перехвата и модификации.
Социальная инженерия	Работников предприятий могут обманом заставить установить вредоносное программное обеспечение или передать конфиденциальную информацию.
Ошибки конфигурации сетей и устройств	Вследствие ошибок конфигурации настроек оборудования появляются возможности для атак.
DDos-атаки	Могут привести к перегрузу сети и остановке производственных процессов

Вид угрозы безопасности	Описание
Вредоносное программное обеспечение	Подключение зараженного устройства сети может распространять вредоносные приложения по всей инфраструктуре IIoT
Аварии и сбои	Потеря связи между устройствами может привести к остановке производства или аварийным ситуациям

Для обеспечения безопасности промышленного интернета вещей существуют международные и отраслевые стандарты, которые описывают требования и методы обеспечения защиты данных, конфиденциальности и целостности информации, и позволяют минимизировать риски, связанные с кибератаками.

IIoT интегрируется в информационную среду, информационная безопасность которой опирается на стандарт ISO 27001 [6]. В основе операционных технологий лежит стандарт IEC 62443, который определяет требования и процессы внедрения и поддержания кибербезопасности систем промышленной автоматизации и управления [7]. Рекомендации по рискам, принципам и средствам контроля безопасности и конфиденциальности в Интернете вещей содержатся в стандарте ISO/IEC 27400 [8].

Авторы в [9] исследовали требования стандарта IEC 62443 для обеспечения безопасности IIoT и отметили, что среда IIoT имеет большое количество устройств, для которых характерны облачные вычисления, ограниченность внутренних ресурсов, интеграция с системой управления, что влечет за собой дополнительные уязвимости и угрозы безопасности.

В работе [10] авторы следовали трехэтапному подходу для контроля рисков безопасности, который включал идентификацию критически важных информационных систем; подробный анализ рисков для этих систем; определение мер безопасности, применимых к другим информационным системам. Оценка рисков выполнялась по двум параметрам – вероятность совершения атаки на систему и серьезность разрушений в случае атаки. Одним из самых больших выявленных рисков оказались ограниченные возможности аутентификации IIoT-устройств.

Таким образом, в промышленном интернете вещей и АСУ ТП необходимо использовать программно-аппаратные средства защиты, позволяющие обеспечить межсетевое экранирование системы, разграничение прав доступа к объ-

ектам АСУ, анализ пакетов промышленных протоколов, предотвратить действия вредоносных и вирусных программ.

Для обнаружения угроз необходимо использовать систему обнаружения вторжения (COB), систему управления информацией и событиями безопасности (SIEM) и систему обнаружения и реагирования на конечные точки (EDR).

Список литературы

1. Верещагина, Е.А. Проблемы безопасности Интернета вещей : учебное пособие / Е.А. Верещагина, И.О. Капецкий, А.С. Ярмонов. – М. : Мир науки, 2021. – 105 с. – Сетевое издание. – URL: <https://izd-mn.com/PDF/20MNNPU21.pdf>.

2. Чернов, Д. В. Построение комплексной системы информационной безопасности АСУ ТП / Д.В. Чернов, В.В. Котов, С.Ю. Борзенкова // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2023. – Vol. 10, № 2 – С. 27-32.

3. Винявский, А.А. Industrial Internet of Things: риски и защита в цифровую эпоху / А.А. Винявский // Автоматизация в промышленности. – 2024. - № 9. – С. 57-60.

4. Новикова, Т.П. Автоматизированное проектирование расположения базовых станций беспроводной сотовой связи / Т.П. Новикова, С.А. Евдокимова, Р.Ю. Медведев // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 61-70.

5. Козлов, С.Д. Метод анализа безопасности для промышленного интернета вещей / С.Д. Козлов, А.И. Ларин // Территория науки и образования. – 2024. –№ 1. – С. 71-74.

6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2021. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования. – Дата введ. 01.01.2022. – М. : СтандартИнформ, 2022. – 112 с.

7. ГОСТ Р МЭК 62443-2-1-2015. Сети коммуникационные промышленные. Защищенность (кибербезопасность) сети и системы. Часть 2-1. Составление программы обеспечения защищенности (кибербезопасности) системы управления и промышленной автоматике. – М. : СтандартИнформ, 2015. – 141 с.

8. ISO/IEC 27400:2022. Кибербезопасность. Безопасность и конфиденциальность IoT. Руководящие положения. – Дата введ. 07.06.2022. – ISO, 2022. – 50 с.

9. Cindrić, I. Mapping of Industrial IoT to IEC 62443 Standards / I. Cindrić, M. Jurčević, T. Hadjina // *Sensors*. – 2025. – Vol. 25(3). – S. 728. – DOI: 10.3390/s25030728.

10. Vulnerability and security risk assessment in a IIoT environment in compliance with standard IEC 62443 / H.L. Hassani [et al.] // *Procedia Computer Science*. – 2021. – Vol. 191. – Pp. 33-40.

References

1. Vereshchagina, E.A. Security problems of the Internet of Things : a textbook / E.A. Vereshchagina, I.O. Kopetsky, A.S. Yarmonov. – M. : Mir nauki, 2021. – 105 p. – Online edition. – URL: <https://izd-mn.com/PDF/20MNNPU21.pdf>.

2. Chernov, D. V. Building an integrated information security system for automated process control systems / D.V. Chernov, V.V. Kotov, S.Yu. Borzenkova // *Mashino-stroenie: a network electronic scientific journal*. – 2023. – Vol. 10, No. 2 – Pp. 27-32.

3. Vishnevsky, A.A. Industrial Internet of Things Risks and protection in the digital age / A.A. Vishnevsky // *Automation in industry*. - 2024. - No. 9. – pp. 57-60.

4. Novikova, T.P. Automated design of the location of base stations for wireless cellular communications / T.P. Novikova, S.A. Evdoki-mova, R.Yu. Medvedev // *Modeling of systems and processes*. – 2023. – T. 16, No. 4. – P. 61-70.

5. Kozlov, S.D. A method of security analysis for the industrial Internet of things / S.D. Kozlov, A.I. Larin // *The territory of science and education*. – 2024. – No. 1. – Pp. 71-74.

6. GOST R ISO/IEC 27001-2021. Information technology. Methods and means of ensuring security. Information security management systems. Requirements. – Date entered. 01.01.2022. Moscow : StandartInform, 2022. – 112 p.

7. GOST R IEC 62443-2-1-2015. Industrial communication networks. Security (cybersecurity) networks and systems. Part 2-1. Drawing up a program to ensure the security (cybersecurity) of the control system and industrial automation. – Moscow : StandartInform, 2015. – 141 p.

8. ISO/IEC 27400:2022. Cybersecurity. IoT security and Privacy. Guidelines. – Date entered. 06/07/2022. – ISO, 2022. – 50 p.

9. Cindrić, I. Mapping of Industrial IoT to IEC 62443 Standards / I. Cindrić, M. Jurčević, T. Hadjina // *Sensors*. – 2025. – Vol. 25(3). – S. 728. – DOI: 10.3390/s25030728.

10. Vulnerability and security risk assessment in a IIoT environment in compliance with standard IEC 62443 / H.L. Hassani [et al.] // Procedia Computer Science. – 2021. – Vol. 191. – Pp. 33-40.

**КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ: СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ
ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ**
**CYBERPHYSICAL SYSTEMS: COMPOSITION AND MAIN AREAS
OF APPLICATION**

Евдокимова С.А., к.т.н., доцент

Новикова Т.П., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

evdsv@mail.ru

Evdokimova S.A., CSc (Engineering), Associate Professor

Novikova T.P., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматриваются основные элементы киберфизических систем и их применение в различных отраслях промышленности. Показано, что киберфизические системы тесно взаимосвязаны с промышленным интернетом вещей, автоматизацией, искусственным интеллектом и обеспечивают повышение производительности, экономию ресурсов, безопасность и надежность.

Summary: The article discusses the main elements of cyber-physical systems and their application in various industries. It is shown that cyber-physical systems are closely interconnected with the industrial Internet of Things, automation, artificial intelligence and provide increased productivity, resource savings, security and reliability.

Ключевые слова: киберфизические системы, промышленный интернет вещей, искусственный интеллект, автоматизация производства, датчики.

Keywords: cyber-physical systems, industrial Internet of things, artificial intelligence, production automation, sensors.

Киберфизические промышленные системы (Cyber-Physical Systems, CPS или КФС) – это интегрированные системы, объединяющие физические процессы с вычислительными ресурсами и сетевыми технологиями. CPS состоят из совокупности цифровых, аналоговых, физических компонентов, искусственных систем, управляющих контроллеров, функционирующих в едином сетевом пространстве. Киберфизические системы объединяют производственные процессы, машины, оборудование и цифровые системы (системы управления, анализа данных, искусственного интеллекта).

Структура CPS состоит из множества взаимосвязанных элементов, основные из которых приведены в таблице 1 [1, 2].

Таблица 1 – Основные элементы структуры CPS

Наименование компонента	Примеры	Функции
Физические реальные объекты	Станки, роботы, автоматически управляемые тележки, различные механизмы	Выполняют конкретные действия в производственных процессах
Сенсорные устройства	Датчики движения, термометры, акустические сенсоры, камеры видеонаблюдения и т.д.	Обеспечивают сбор данных о состоянии физических объектов и происходящих процессах.
Вычислительные узлы	Микроконтроллеры, микрокомпьютеры (Raspberry Pi, Arduino), ПК и серверы и др.	Обработывают данные, выполняют задачи моделирования и управления.
Средства коммуникации	Коммуникационная сеть строится с использованием технологий передачи данных Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee) и протоколов промышленной автоматизации (Modbus, OPCUA).	Обеспечивают передачу данных в реальном времени и поддерживают синхронизацию всех элементов CPS
Программное обеспечение	SCADA-системы, системы симуляции и моделирования, программы контроля и обработки данных, машинного обучения и искусственного интеллекта.	Обеспечивают работу CPS
Энергетические подсистемы	Электрические сети, аккумуляторы, батареи, солнечные панели, резервные источники питания и т.д.	Обеспечивают бесперебойную работу CPS

Продолжение таблицы 1

Наименование компонента	Примеры	Функции
Система безопасности CPS	Программные и программно-аппаратные средства	Ограничивают доступ, защищают от внешних воздействий, от хакерских атак, реализуют шифрование данных и т.п.
Системы поддержки жизненного цикла CPS	Программные подсистемы	Предназначены для поддержки процессов проектирования, разработки, тестирования, эксплуатации и модернизации CPS.

Обобщенная структура CPS показана на рисунке 1 [2].

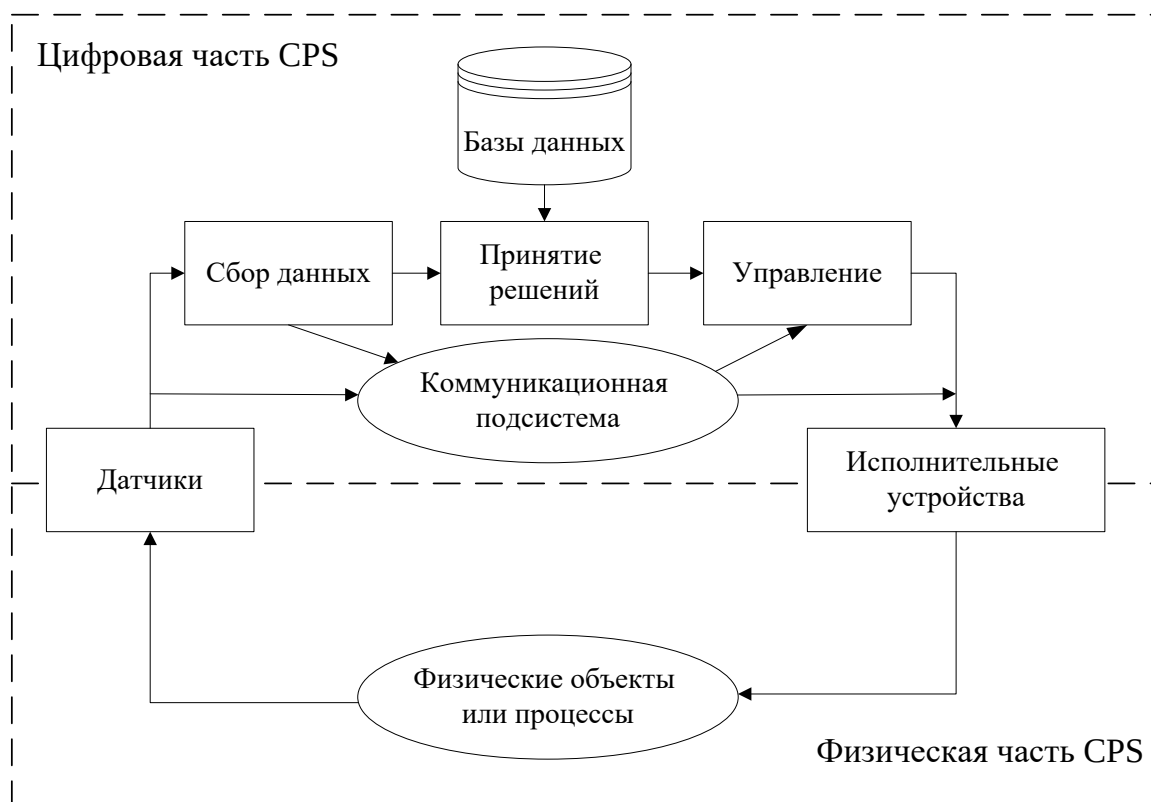


Рисунок 1 – Общая структура киберфизической системы

Основными областями применения CPS являются [3-13]:

1. Автоматизация производства – CPS обеспечивают синхронизацию работы машин и оборудования, мониторинг состояния производственных процессов и адаптацию их к изменениям в режиме реального времени, что помогает оптимизировать производство, снизить затраты и повысить качество продукции.

Например, роботы, управляемые CPS, могут адаптироваться к изменению условий на производстве и самостоятельно принимать решения на основе анализа данных. Промышленные машины могут автоматически корректировать параметры обработки деталей в зависимости от показаний сенсоров [3].

В работе [4] авторы разработали структуру CPS управления процессом зонного индукционного нагрева, который применяется при термической обработке металлических изделий.

2. Промышленный интернет вещей (IIoT) – с помощью интернета вещей устройства обмениваются данными между собой и системами управления, что позволяет осуществлять удаленный контроль над производственными объектами.

Например, датчики температуры, давления, вибрации могут передавать данные о состоянии оборудования в режиме реального времени, позволяя предотвратить поломки до их возникновения.

В работе [5] авторы провели исследование о роли датчиков при построении киберфизических систем, рассмотрели области применения и их преимущества. Датчики играют решающую роль для организации цифрового пространства для сбора и передачи данных, которые необходимы для мониторинга, контроля и оптимизации производственных процессов.

3. Умные фабрики (SmartFactory) – в такой фабрике все операции автоматизированы и координируются с использованием цифровых платформ.

Например, CPS могут управлять складскими роботами, которые перемещают материалы по производственной линии в зависимости от текущих потребностей и изменений в заказах.

Авторы [6] провели исследования по созданию «умного предприятия» приборостроительного производства, оснащенного киберфизическими системами, которые организуются на предприятии с помощью средств промышленного интернета вещей. Данные о состоянии технологического оборудования и выполнении операций передаются с помощью соответствующих датчиков встроенному контроллеру управления, который подключен к контроллеру интернета вещей.

В работе [7] авторы рассмотрели подход к созданию киберфизической платформы для производства полимерных изделий. Особенностью рассматриваемого технологического процесса является то, что использует быстрое изготовление сменных литевых форм, требуемое в единичном и мелкосерийном производстве полимерных изделий. Данные, необходимые для производства, о

ресурсах и параметрах оборудования поступают в центральную систему и позволяют эффективно планировать реализацию малых серий изделий.

4. Энергетика и управление ресурсами – киберфизические системы помогают оптимизировать потребление энергии и управлять распределением ресурсов.

Например, умные сети электроснабжения используют данные о потреблении электроэнергии и предотвращения аварийных ситуаций, была построена киберфизическая система тягового электроснабжения [8].

В системах теплоснабжения датчики могут отслеживать температуру в зданиях и автоматически регулировать подачу тепла в зависимости от внешних погодных условий и внутренних потребностей.

В работе [9] авторы отмечают преимущества использования технологии «SmartGrid» при создании электросетей, к которым относятся повышение надежности и эффективности. Киберфизические системы в энергетике обеспечивают мониторинг системы управления процессами бесперебойной передачи электроэнергии. Структура предлагаемой CPS энергосистемы включает в себя Центр управления сетями, Диспетчерскую энергосбыта, Информационно-вычислительный и Измерительно-информационный комплексы. Для моделирования и прогнозирования объема энергопотребления использовались нейронные сети с обучением.

5. Транспортировка и логистика – CPS применяются в управлении цепочками поставок и транспортной инфраструктурой [10, 11].

Например, интеллектуальные транспортные системы помогают управлять движением транспорта, предотвращая пробки и аварии, а также повышают безопасность перевозок.

Дроны с поддержкой CPS могут доставлять грузы, ориентируясь на сигналы GPS, избегать столкновений благодаря датчикам расстояния.

В [10] показано, что на транспорте могут быть использованы КФС, мобильные устройства интернета вещей обеспечивают соединение в единую систему частей подвижного состава. Информационно-вычислительные сети подвижного состава объединяются в диспетчерскую службу, и организуется сеть состава.

6. Безопасность и защита – CPS могут контролировать доступ сотрудников, следить за состоянием окружающей среды и оперативно реагировать на чрезвычайные ситуации.

Например, система видеонаблюдения с искусственным интеллектом может распознавать опасные ситуации и немедленно отправлять сигнал тревоги.

Авторы в работе [12] предложили киберфизическую систему для мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного типа. В структуре разработанной КФС использовались данные, полученные от различных устройств: датчиков, дронов, путем дистанционного зондирования и т.д. Вся информация собиралась и обрабатывалась в центре управления, применяя облачные вычисления. Для распознавания аэрокосмических изображений и принятия решения о чрезвычайной ситуации использовались методы сегментации, классификации, нечеткого вывода, прогнозирования и т.д.

7. Экологические технологии – CPS способствуют снижению воздействия промышленности на окружающую среду. Они позволяют минимизировать отходы, оптимизировать использование природных ресурсов и сократить выбросы вредных веществ.

Например, сенсоры на предприятиях химической промышленности могут измерять уровень выбросов загрязняющих веществ и автоматически корректировать производственные процессы для соответствия экологическим стандартам.

Авторы [13] предложили модель киберфизической системы для управления минимизацией загрязнений сточных вод, построенное на основе уравнений математической физики.

Таким образом, киберфизические системы используются в различных отраслях производства, обеспечивая повышение производительности работы оборудования, уменьшение времени простоя, быструю перенастройку производства под новые задачи, экономию энергоресурсов, снижение отходов, мониторинг состояния оборудования, автоматизацию рутинных операций и многое другое.

Список литературы

1. Плахотников, Д.П. Применение искусственного интеллекта в киберфизических системах / Д.П. Плахотников, Е.Е. Котова // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2020. – Т. 1. – С. 285-288.

2. Пешкин, К.С. Назначение и перспективы развития киберфизических систем управления технологическими процессами / К.С. Пешкин // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2023. – Т. 31, № 1. – С. 47-59.

3. Евдокимова, С.А. Особенности интеллектуальной поддержки автоматизации производства / С. А. Евдокимова // Современные проблемы автоматизации, роботизации и управления в технических, организационных, экономических системах : материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых и Всероссийской научно-практической конференции преподавателей и специалистов, Воронеж, 26 и 29 марта 2024 г. – Воронеж, 2024. – С. 47-53.

4. Колпашиков, С.А. Разработка структуры киберфизической системы управления процессом зонного индукционного нагрева стальной заготовки / С.А. Колпашиков, К.С. Пешкин // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». – 2024. – Т. 32, № 3. – С. 63-80.

5. Абдрашитов, Р.Р. Компоненты киберфизических систем индустрии 4.0 и применение сенсорики в промышленном интернете вещей / Р.Р. Абдрашитов, В.Д. Забурдин, А.В. Шахомиров // Системный анализ и логистика. – 2023. – № 3(37). – С. 71-84.

6. Организация цифровых производств Индустрии 4.0 на основе киберфизических систем и онтологий / А.В. Гурьянов, Д.А. Заколдаев, А.В. Шукалов [и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Т. 18, № 2. – С. 268-277.

7. Чукичев, А.В. Индустриальная киберфизическая платформа для единичного производства полимерных изделий / А.В. Чукичев, О.С. Тимофеева, Е.И. Яблочников // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – Т. 63, № 9. – С. 840-846.

8. Крюков, А. В. Моделирование электрических и тепловых режимов тяговых трансформаторов / А. В. Крюков, А. В. Черепанов, А. Е. Крюков // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 2. – С. 73–81.

9. Полуянович, Н.К. Киберфизическая система прогнозирования электропотребления атипичного вида на основе нейронной сети / Н.К. Полуянович, М.Н. Дубяго, О.В. Качелаев // Математические методы в технологиях и технике. – 2024. - № 1. – С. 34-39.

10. Дзюба, Ю.В. Киберфизические системы в управлении транспортом / Ю.В. Дзюба, В.Я. Цветков, А.В. Козлов // Автоматика, связь, информатика. – 2022. – № 1. – С. 10-12.

11. Козлов, А.В. Транспортные киберфизические системы как результат развития технологии интернета вещей / А.В. Козлов // Наука и технологии железных дорог. – 2021. – Т. 5, № 1 (17). – С. 11-21.

12. Ручкин, В.Н. Киберфизические технологии мониторинга чрезвычайных ситуаций / В.Н. Ручкин, Б.В. Костров, А.Н. Колесенков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2016. – № 2. – С. 252-260.

13. Модели киберфизических систем управления минимизацией загрязнений для адаптации технологий к их источнику / Г.И. Коршунов, Р.И. Сольников, Н.А. Жильникова, С.Л. Поляков // Системный анализ в проектировании и управлении. – 2021. – Т. 25, № 3. – С. 193-198.

References

1. Plakhotnikov, D.P. Application of artificial intelligence in cyberphysical systems / D.P. Plakhotnikov, E.E. Kotova // International Conference on Soft Computing and Measurements. – 2020. – Vol. 1. – Pp. 285-288.

2. Peshkin, K.S. Purpose and prospects of development of cyberphysical control systems for technological processes / K.S. Peshkin // Bulletin of the Samara State Technical University. Series: Technical Sciences. – 2023. – Vol. 31, No. 1. – Pp. 47-59.

3. Evdokimova, S.A. Features of intellectual support for production automation / S. A. Evdokimova // Modern problems of automation, robotization and management in technical, organizational, and economic systems : proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists and the All-Russian Scientific and Practical Conference of Teachers and Specialists, Voronezh, March 26 and 29, 2024. – Voronezh, 2024. – Pp. 47-53.

4. Kolpashchikov, S.A. Development of the structure of a cyberphysical control system for the process of zone induction heating of a steel billet / S.A. Kolpashchikov, K.S. Peshkin // Bulletin of the Samara State Technical University. The series «Technical Sciences». – 2024. – Vol. 32, No. 3. – Pp. 63-80.

5. Abdrashitov, R.R. Components of cyber-physical systems of industry 4.0 and the use of sensors in the industrial Internet of Things / R.R. Abdrashitov, V.D. Zaburdin, A.V. Shakhomirov // System analysis and Logistics. – 2023. – № 3(37). – Pp. 71-84.

6. Organization of digital productions in Industry 4.0 based on cyberphysical systems and ontologies / A.V. Guryanov, D.A. Zakoldaev, A.V. Shukalov [et al.] //

Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics. – 2018. – Vol. 18, No. 2. – Pp. 268-277.

7. Chukichev, A.V. Industrial cyberphysical platform for the single production of polymer products / A.V. Chukichev, O.S. Timofeeva, E.I. Yablochnikov // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Instrument engineering*. – 2020. – Vol. 63, No. 9. – Pp. 840-846.

8. Kryukov, A.V. Modeling of electrical and thermal modes of traction transformers / A.V. Kryukov, A.V. Cherepanov, A. E. Kryukov // *Bulletin of the Rostov State University of Railway Communications*. – 2024. – No. 2. – Pp. 73-81.

9. Poluyanovich, N.K. Cyberphysical system for forecasting atypical electrical consumption based on a neural network / N.K. Poluyanovich, M.N. Dubyago, O.V. Kachelaev // *Mathematical methods in technology and engineering*. – 2024. – No. 1. – Pp. 34-39.

10. Dzyuba, Yu.V. Cyberphysical systems in transport management / Yu.V. Dzyuba, V.Ya. Tsvetkov, A.V. Kozlov // *Automation, communications, informatics*. – 2022. – No. 1. – Pp. 10-12.

11. Kozlov, A.V. Transport cyberphysical systems as a result of the development of the Internet of Things technology / A.V. Kozlov // *Science and technology of railways*. – 2021. – Vol. 5, No. 1 (17). – Pp. 11-21.

12. Ruchkin, V.N. Cyberphysical technologies for monitoring emergency situations. N. Ruchkin, B.V. Kostrov, A.N. Kolesenkov // *Proceedings of Tula State University. Technical sciences*. - 2016. – No. 2. – Pp. 252-260.

13. Models of cyberphysical pollution minimization control systems for adapting technologies to their source / G.I. Korshunov, R.I. Solnitzev, N.A. Zhilnikova, S.L. Polyakov // *System analysis in design and management*. – 2021. – Vol. 25, No. 3. – Pp. 193-198.

**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
РОЗЛИВА ВИНА В НОТАЦИИ BPMN
FUNCTIONAL MODEL OF THE WINE BOTTLING PROCESS IN BPMN
NOTATION**

Евдокимова С.А., к.т.н., доцент

Новикова Т.П., к.т.н., доцент

Исмаилов Д.М., магистрант

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

evdsv@mail.ru

Evdokimova S.A., CSc (Engineering), Associate Professor

Novikova T.P., CSc (Engineering), Associate Professor

Ismailov D.M., Master's student

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье представлена функциональная модель процесса розлива вина в бутылку в нотации BPMN, которая была разработана для определения эффективности технологического процесса в ООО «Евпаторийский завод классических вин». Имитационное моделирование проведено в системе BussinessStudio.

Abstract: The article presents a functional model of the wine bottling process in BPMN notation, which was developed to determine the effectiveness of the technological process at LLC «Evpatoria Classic Wine Factory». The simulation was carried out in the Business Studio system.

Ключевые слова: функциональная модель, имитационное моделирование, нотация BPMN, технологический процесс, BusinessStudio.

Keywords: functional model, simulation modeling, BPMN notation, technological process, Business Studio.

Для улучшения организации технологических процессов и повышения производительности труда необходимо постоянно модернизировать оборудование, внедрять современные технологии, направленные на оптимизацию бизнес-процессов. Для этого следует проводить анализ бизнес-процессов на предприятии, используя моделирование технологических процессов, аналитические расчеты системы поддержки принятия решений [1-4].

Одним из современных средств исследования сложных систем и процессов является имитационное моделирование, которое заключается в разработке модели поведения элементов сложной системы или процесса для изучения их свойств [4-7]. Имитационное моделирование применяется в случаях, когда значения некоторых свойств имеют случайный характер, поэтому проведение экспериментов с реальными процессами или системами невозможно или очень дорого [6-8]. Для реализации имитационного моделирования применяют программные системы AnyLogic, Arena, BusinessStudio и другие [9].

Для расчета производительности технологической линии розлива вина в бутылку в ООО «Евпаторийский завод классических вин» разработана функциональная модель процесса в нотации BPMN (рисунок 1). Стартовым событием является подача вина из цеха на разливочную линию. Модель включает 3 организационных дорожки – Оператор узла нагрева, Оператор узла розлива, Оператор упаковочной линии, которые отвечают за подпроцессы: Пастеризация, Розлив, Укупорка бутылок, Упаковка бутылок в ящики.

Для отражения составных этапов рассматриваемого процесса используются именно подпроцессы, а не задачи, так как они имеют определенные повторяющиеся действия. График работы временных ресурсов – 5 дней в неделю с 9:00 до 18:00, перерыв с 13:00 до 14:00.

Стартовыми событиями являются Вино подано и Пустые бутылки поданы, которые наступают в течение рабочего дня постоянно каждые 10 мин. Вино подается из напорного отделения насосом постоянно в пастеризатор, пустые бутылки по конвейерной линии подаются к автомату стерилизации бутылок. Стартовые события в модели описываются параметрами, которые приведены в таблице 1. Интервал наступления событий выбран 10 мин, потому что вино пастеризуется 10 мин, и начинается процесс розлива в бутылки.

Длительность других операций в модели рассматриваемого процесса принята за 5 мин, чтобы не было большой задержки наступления событий. Исходя из параметров оборудования определено количество производимой продукции, но оно варьируется в пределах некоторого интервала, т.е. в общем слу-

чае является случайной величиной, которая определяется по непрерывному распределению на определенном интервале.

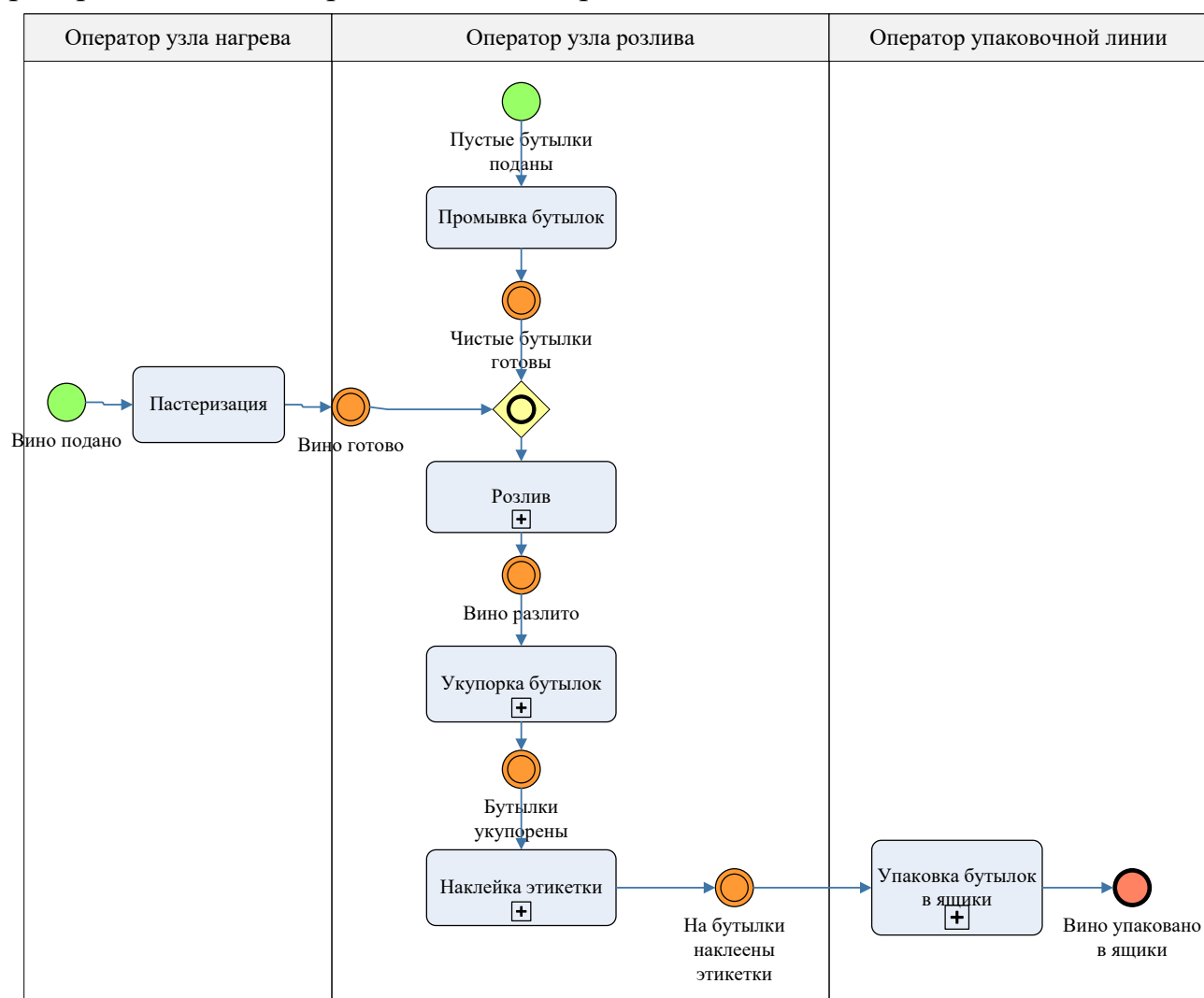


Рисунок 1 – Модель процесса розлива вина в бутылку

Таблица 1 – Параметры наступления стартовых событий модели

№	Наименование события	Интервал появления события	Закон распределения времени наступления события
1	Вино подано	Сутки (базовый календарь)	Константа (0:10:00)
2	Пустые бутылки поданы	Сутки (базовый календарь)	Константа (0:10:00)

Используемые ресурсы и производимые продукты приведены в таблице 2.

Для выполнения имитационного моделирования использовалась система бизнес-моделирования BusinessStudio, которая поддерживает нотацию BPMN и выполняет учет временных, материальных и стоимостных ресурсов [10]. Для со-

зданных графических моделей созданы роли Оператор узла нагрева (1 экз.), Оператор по розливу (2 экз.), Оператор упаковочной линии (2 экз.).

Таблица 2 –Параметры подпроцессов модели розлива вина в бутылку

№ п/п	Подпроцесс	Длительность, мин	Используемые ресурсы	Количество	Производимые продукты	Количество
1	Пастеризация	10			Вино, л	700
2	Промывка бутылок	10			Чистые бутылки, шт.	(760; 800)
3	Розлив	5	Вино, л	(285;300)	Бутылки вина, шт.	(380;400)
			Чистые бутылки, шт.	(380;400)		
4	Укупорка бутылок	5	Бутылки вина, шт.	(375;390)	Бутылки с пробками, шт.	(375;390)
5	Наклейка этикетки	5	Бутылки с пробками, шт.	(340;350)	Бутылки с этикетками, шт.	(340;350)
6	Упаковка бутылок в ящики	5	Бутылки с этикетками, шт.	(324;336)	Ящики с вином, шт.	(27;28)

Согласно разработанной модели, приведенной на рисунке 1, процесс розлива вина в бутылку состоит из следующих операций: Пастеризация, Промывка бутылок, Розлив, Укупорка бутылок, Наклейка этикетки и Упаковка бутылок в ящики. Если модель BPMN рассматриваемого процесса будет состоять только из последовательности операций (задач), то, как только начнется стартовое событие, будут запущены все экземпляры операций в процессе. Это в итоге даст неправильный результат. Поэтому между операциями были добавлены промежуточные события, которые означают окончание выполнения конкретного экземпляра операции и показывают выполнение операций с течением времени.

Чтобы не было остатков вина и бутылок в конце рабочего дня подпроцесс Пастеризация и Промывка бутылок должны заканчиваться раньше на 20 мин.

В BusinessStudio были проведены имитации поведения созданной модели процесса розлива вина в бутылку. Время имитации процесса – 1 рабочий день (т.е. 8 ч), а шаг моделирования – 5 мин. Поскольку параметры процессов случайные величины, то было проведено 10 имитаций.

Сравнив полученные данные, пришли к выводу, что значения случайных величин соответствуют заданным параметрам.

Точность результатов имитационного моделирования характеризуется погрешностью измерений выходных данных или отклонением значения величины от ее действительного значения. Относительная погрешность определяется по формуле:

$$\delta_i = \frac{|x_i - \bar{x}|}{\bar{x}},$$

где $\bar{x}$ – среднее арифметическое значение результатов n измерений;

x_i – значение i -ого параметра;

$i \in [1, n]$, n – количество периодов.

Таким образом, производительность линии розлива вина в бутылку в разработанной модели BPMN равна 3751,5 бут/ч, что соответствует данным ООО «Евпаторийский завод классических вин». Относительная погрешность расчетов не превышает 1%. При проведении модернизации технологической линии можно использовать представленную функциональную модель.

Список литературы

1. Выбор критерия оптимальности при принятии управленческих решений в сложных технических системах / А. В. Скрыпников, И. А. Высоцкая, С. А. Евдокимова [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 120-128. – DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-120-128.
2. Высоцкая, И. А. Поиск множества допустимых управленческих решений в технических системах / И. А. Высоцкая // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 35-42. – DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-35-42.
3. Евдокимова, С.А. Имитационное моделирование процесса рассмотрения обращений граждан / С.А. Евдокимова, Д.Н. Драгина // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 15-24.
4. Новикова, Т.П. Разработка алгоритма и модели функционирования информационной системы для малого сельскохозяйственного предприятия / Т.П.

Новикова, Т.В. Новикова, А.И. Новиков // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 4. – С. 53-58.

5. Бойко, А.А. Имитационное моделирование: виды и области применения / А.А. Бойко, С.А. Евдокимова, Т.П. Новикова // Новые аспекты моделирования систем и процессов : сборник материалов Международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2023. – С. 18-26.

6. Имитационное моделирование деформативных показателей ведомственных автомобильных дорог, укрепленных шлакосиликатным вяжущим / И. А. Викулин, В. В. Зиновьева, О. С. Никульчева [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 24-31. – DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-2-24-31.

7. Имитационная модель подбора акций при количественном инвестировании / Т.П. Новикова, С.А. Евдокимова, У. Гоцуй, А.И. Новиков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 3. – С. 81-84.

8. Новикова, Т.П. Разработка алгоритма и модели функционирования информационной системы для платного отделения стоматологической поликлиники / Т.П. Новикова, А.А. Бодин, С.А. Евдокимова // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 1. – С. 51-58.

9. Бойко, А.А. Анализ применения систем бизнес-моделирования для имитационного моделирования / А. А. Бойко, С. А. Евдокимова // Перспективные аспекты моделирования систем и процессов : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. - Воронеж, 2023. - С. 253-260.

10. Business Studio: управление бизнесом, бизнес-моделирование, описание, регламентация и оптимизация бизнес-процессов. – URL: <https://www.businessstudio.ru/> (дата обращения: 28.02.2025).

References

1. Selection of the optimality criterion in making managerial decisions in complex technical systems / A.V. Skrypnikov, I. A. Vysotskaya, S. A. Evdokimova [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 120-128. – DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-120-128.

2. Vysotskaya, I. A. The search for a set of acceptable management solutions in technical systems / I. A. Vysotskaya // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 35-42. – DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-35-42.

3. Evdokimova, S.A. Simulation modeling of the process of considering citizens' appeals / S.A. Evdokimova, D.N. Dragina // Modeling of systems and processes. - 2018. – Vol. 11, No. 3. – Pp. 15-24.

4. Novikova, T.P. Development of an algorithm and a model of functioning of an information system for a small agricultural enterprise / T.P. Novikova, T.V. Novikova, A.I. Novikov // Modeling of systems and processes. – 2020. – Vol. 13, No. 4. – Pp. 53-58.

5. Boyko, A.A. Simulation modeling: types and fields of application / A.A. Boyko, S.A. Evdokimova, T.P. Novikova // New aspects of modeling systems and processes : proceedings of the International Scientific and Practical Conference. – Voronezh, 2023. – Pp. 18-26.

6. Simulation modeling of deformative parameters of domestic highways reinforced with cinder-silicate binder / I. A. Vikulin, V. V. Zinovieva, O. S. Nikulcheva [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – Pp. 24-31. – DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-2-24-31.

7. Imitation model of stock selection in quantitative investing / T.P. Novikova, S.A. Evdokimova, U. Gotsui, A.I. Novikov // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. – 2023. – No. 3. – Pp. 81-84.

8. Novikova, T.P. Development of an algorithm and a model of functioning of an information system for a paid department of a dental clinic / T.P. Novikova, A.A. Bodin, S.A. Evdokimova // Modeling of systems and processes. – 2021. – Vol. 14, No. 1. – Pp. 51-58.

9. Boyko, A.A. Analysis of the application of business modeling systems for simulation modeling / A. A. Boyko, S. A. Evdokimova // Promising aspects of modeling systems and processes : a collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. –Voronezh, 2023. – Pp. 253-260.

10. Business Studio: business management, business modeling, description, regulation and optimization of business processes. – URL: <https://www.businessstudio.ru> / (date of access: 28.02.2025).

**РАЗВЕРТЫВАНИЕ СЕРВЕРА ПРИЛОЖЕНИЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ
КОНТЕЙНЕРИЗАЦИИ
DEPLOYING AN APPLICATION SERVER USING CONTAINERIZATION
TECHNOLOGY**

Елизаров П. В., студент

Щербакова И. В., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

shcherbakovaiv@vglt.vrn.ru

Elizarov P. V., student

Shcherbakova I.V., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматривается подход к созданию файлового сервера с возможностью развертывания на основе микросервисной архитектуры. С этой целью применяется программное обеспечение с открытым исходным кодом Docker. Применение Nextcloud в контексте контейнеризации приложений упрощает управление и развертывание файлового сервера на основе этой платформы.

Summary: The article discusses an approach to creating a deployable file server based on a microservice architecture. The Docker open source software is used for this purpose. Using Nextcloud in the context of application containerization simplifies the management and deployment of a file server based on this platform.

Ключевые слова: файловый сервер, микросервисная архитектура, контейнеризация приложений.

Keywords: file server, microservice architecture, application containerization.

В настоящее время весь мир все более активно переходит к автоматизации всех форм своей деятельности[1]. При этом остро стоит вопрос интеграции

друг с другом использующихся в организациях сервисов. Примером таких сервисов может служить файловый сервер. Концепции существующих файловых серверов можно эффективно переработать и усовершенствовать на основе технологии контейнеризации Docker [2-7]. Предлагаемый подход позволяет создать современный технологичный сервер и реализовать полноценную готовую информационную систему для использования в повседневных задачах.

Docker – это платформа с открытым исходным кодом, которая запускает приложения и упрощает процесс разработки и распространения. Приложения могут быть легко упакованы разработчиком в легкие контейнеры docker. С этими виртуализированными приложениями можно легко работать в любом месте без каких-либо изменений.

Подчеркивая преимущества использования docker, стоит упомянуть о скорости развертывания контейнеров docker. Скорость – одно из наиболее значимых преимуществ контейнеров.

Приложения, которые встроены в контейнеры docker, чрезвычайно переносимы. Эти портативные приложения можно легко перемещать как единый элемент без потери производительности.

Контейнеры могут работать в любой среде, поскольку они имеют все необходимые зависимости, встроенные в приложения. Docker обеспечивает надежную, согласованную и улучшенную среду, поэтому при перемещении кодов между системами разработки, тестирования и производства могут быть достигнуты предсказуемые результаты.

Структура файлового сервера с возможностью развертывания на основе микросервисной архитектуры представлена на рисунке 1.

Nextcloud – платформа с открытым исходным кодом для хранения и совместного использования файлов. Платформа Nextcloud является мощным инструментом для создания и управления облачными хранилищами данных. Расширения платформы позволяют организовать редактирование документов в режиме онлайн, обмен видеофайлами и иными крупными архивами, а также обеспечивают пользователей почтовым клиентом, адресной книгой, возможностями организации видео- и аудио- конференций.

Необходимым элементом в составе файлового сервиса можно считать открытый инструмент Certbot, созданный для упрощения получения и управления сертификатами безопасности SSL/TLS. Он автоматизирует процесс безопасного шифрования между веб-сервером и его пользователями.

К основным функциям Certbot следует отнести:

- 1) автоматическую настройку сертификатов;
- 2) обновление сертификатов;
- 3) методы проверки домена.

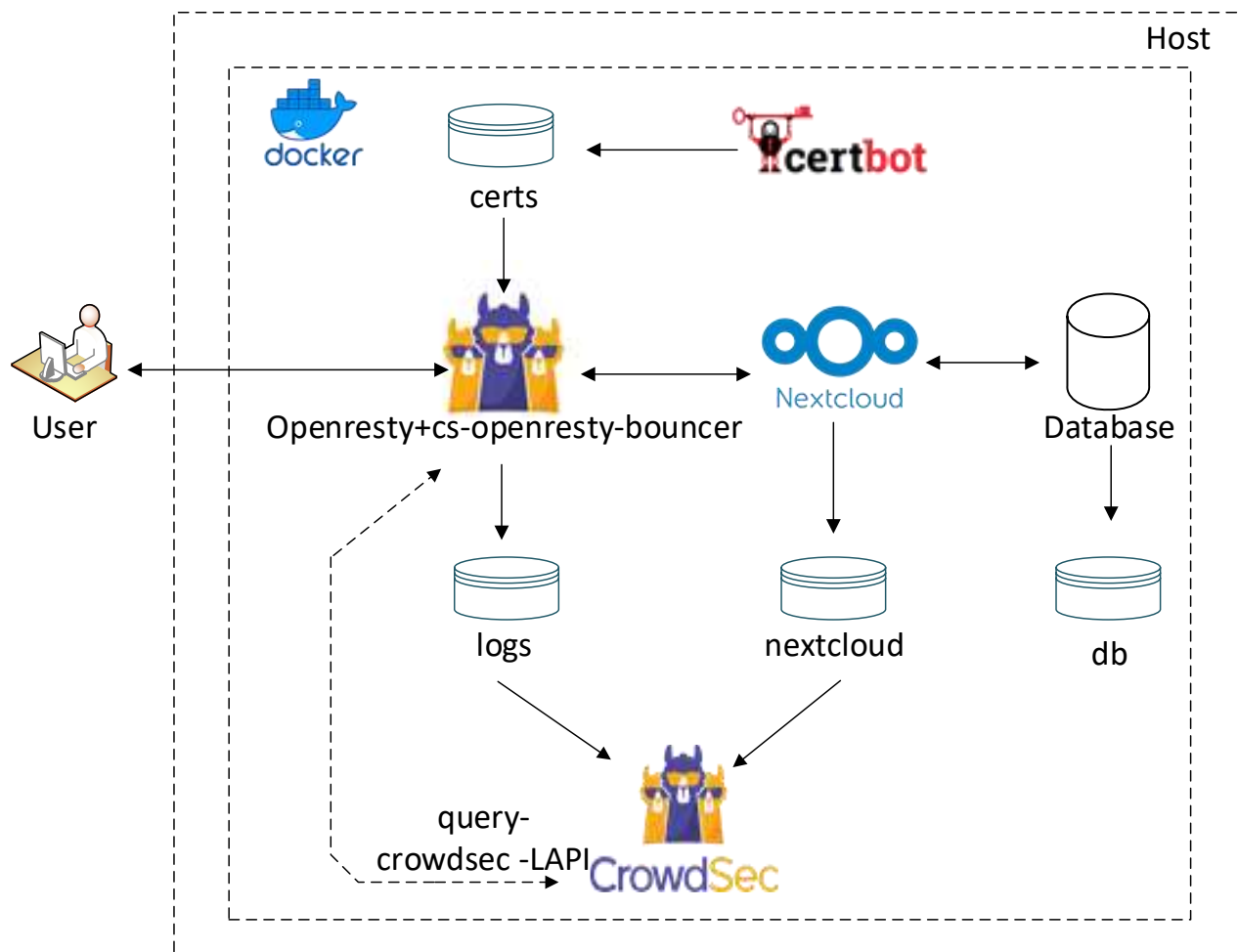


Рисунок 1 – Структура файлового сервера

Для выявления и блокировки вредоносных IP-адресов на основе шаблонов их поведения целесообразно использовать инструмент с открытым кодом CrowdSec.

Для создания файлового сервера с применением технологий Docker также используются следующие основные инструменты и платформы:

1) Бесплатный веб сервер Nginx с синхронной архитектурой, работающий на операционной системе Unix. К неоспоримым достоинствам Nginx можно отнести то, что со статическим контентом он работает в 2,5 раза быстрее, не уступая при этом другим веб серверам в обработке динамического контента.

2) Основой хранения данных сервера является СУБД MariaDB. Это улучшенная версия MySQL, поставляемая с открытым исходным кодом.

3) Мультиязычный интерфейс Visual Studio Code, который применяется для редактирования исходных кодов, написания скриптов, сборки и развертывания контейнеров с приложениями. Преимуществом использования VS Code

является возможность организовать работу и настройку в одном графическом окне. Это позволяет в случае непредвиденных сбоев обращаться к необходимым конфигурационным файлам для быстрого устранения ошибки.

4) Операционная система Linux Debianc самодостаточным и свободным для использования дистрибутивом.

5) Наиболее используемый язык сериализации данных YAML, который применяется для конфигурационных файлов.

Опыт развертывания файлового сервера с использованием микросервисной архитектуры показывает, что использование технологии Docker существенно ускоряет процесс администрирования и настройки сервера.

Список литературы

1. Закирова, Ю. М. Метод контейнеризации веб-приложений / Ю. М. Закирова. – Уфа, 2021. – С.37-42
2. Моуэт, Э. Использование Docker / Э. Моуэт. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 354 с.
3. Николофф, Д. DockerinAction / Д. Николофф. – URL: https://www.programmer-books.com/wp-content/uploads/2018/10/Docker.Action.Jeff_.Nickoloff.1091.pdf (дата обращения: 01.04.2025).
4. Турнбул, Д. The Docker Book. Containerization is the new virtualization / Д. Турнбул. – URL: <https://dockerbook.com> (дата обращения: 01.04.2025).
5. Docker на практике / пер. с англ. Д. А. Беликов. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 516 с.
6. Docker in Practice (Ian Miell, Aidan Hobson Sayers). – URL: <https://thuannguyen.net/downloads/Docker-In-Practice-2nd-Edition-ThuanNguyen.NET.pdf> (дата обращения: 01.04.2025).
7. Docker Up & Running (Karl Matthias, Sean P. Kane). – URL:<https://dockerupandrunning.com> (дата обращения: 01.04.2025).

References

1. Zakirova, Yu. M. Method of containerization of web applications / Yu. M. Zakirova. – Ufa, 2021. –Pp. 37-42
2. Mowat, E. Using Docker / E. Mowat. –Moscow : DMK Press, 2017. –354 p.

3. Nikoloff, D. Docker in Action / D. Nikoloff. – URL: https://www.programmer-books.com/wp-content/uploads/2018/10/Docker_Action_Jeff_Nickoloff.1091.pdf (accessed: 04.01.2025).
4. Turnbull, D. The Docker Book. Containerization is the new virtualization / D. Turnbull. – URL: <https://dockerbook.com> (date of request: 04.01.2025).
5. Docker in practice / translated from English by D. A. Belikov. – Moscow: DMK Press, 2020. – 516 p.
6. Docker in Practice (Ian Miell, Aidan Hobson Sayers). – URL: <https://thuannguyen.net/downloads/Docker-In-Practice-2nd-Edition-ThuanNguyen.NET.pdf> (accessed: 04.01.2025).
7. Docker Up & Running (Karl Matthias, Sean P. Kane). – URL: <https://dockerupandrunning.com> (date of request: 04.01.2025).

АВТОМАТИЗАЦИЯ ШИНОМОНТАЖНОГО УЧАСТКА AUTOMATION OF TIRE FITTING SECTION

Иванов Е.К., студент

Мещерякова А.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия

Ivanov E.K., student

Meshcheryakova A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE « Voronezh State University of Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov»,
Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматриваются ключевые аспекты автоматизации шиномонтажного процесса, его преимущества и возможные решения. Автоматизация шиномонтажного участка – это современное решение, позволяющее значительно улучшить работу автосервисов, повысить качество обслуживания клиентов и увеличить прибыльность бизнеса.

Summary: The article discusses key aspects of tire fitting process automation, its advantages and possible solutions. Automation of tire fitting section is a modern solution that allows to significantly improve the work of car services, increase the quality of customer service and increase business profitability.

Ключевые слова: автоматизация, шиномонтажный участок, системы автоматизации, интеллектуальные системы, машинное обучение.

Keywords: automation, tire fitting section, automation systems, intelligent systems, machine learning.

Во многих шиномонтажных мастерских объем работ возрастает, особенно в сезон смены резины. В таких условиях ручной труд становится неэффективным и может приводить к ошибкам, увеличению времени обслуживания клиентов и, как следствие, снижению их удовлетворенности. Автоматизация позволяет оптимизировать рабочие процессы, сократить время ожидания и повысить общую производительность услуги.

Преимущества автоматизации. Увеличение скорости работы: Автоматизированные машины могут выполнять задачи быстрее, чем люди. Например, автоматические шиномонтажные станки способны монтировать и демонтировать шины за считанные минуты.

Снижение ошибок: Ошибки в установке я могут приводить к повреждению колес и снижению безопасности. Автоматические системы, оснащенные датчиками и программным обеспечением, минимизируют риск человеческого фактора.

Повышение качества обслуживания: Скорость и качество работы повышаются, что улучшает общую клиентскую удовлетворенность. Клиенты ценят быстрое и эффективное обслуживание.

Улучшение условий труда: Автоматизация позволяет снизить физическую нагрузку на сотрудников, что способствует меньшему количеству травм и повышению их производительности.

Сбор и анализ данных: Автоматизированные системы могут собирать данные о объеме выполненных работ, времени, затрачиваемом на каждую задачу, и т.д. Эти данные позволяют оптимизировать рабочие процессы и принимать более обоснованные управленческие решения.

Решения для автоматизации.

1. Автоматические шиномонтажные станки

Существуют различные модели шиномонтажных станков, оснащенные системами автоматической балансировки, которые значительно упрощают процесс монтажа и демонтажа. Некоторые из них могут даже работать с бескамерными шинами и иметь функции диагностики [1].

2. Программное обеспечение для управления

Специальные программы для управления работой шиномонтажного участка позволяют отслеживать прогресс выполнения заказов, управлять запасами и планировать график работы. Это помогает избегать переполненности и задержек.

3. Системы учета и CRM

Интеграция систем учета и управления отношениями с клиентами (CRM) позволяет автоматизировать взаимодействие с клиентами, фиксировать их запросы и предоставлять отчеты о выполненных работах [2].

4. RFID-технологии

Использование радиочастотной идентификации (RFID) может помочь отслеживать состояние шин и их перемещение, что облегчает управление запасами и упрощает процесс поиска необходимых комплектующих [3].

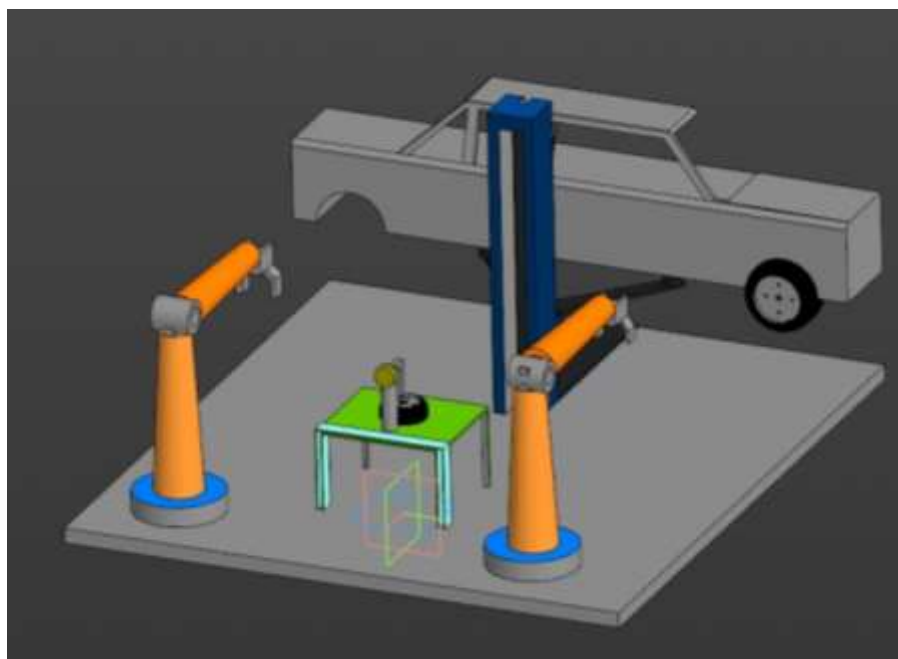


Рисунок 1 – 3D модель шиномонтажной установки

Таким образом, автоматизация шиномонтажного участка – это не просто модный тренд, а необходимость для современных автосервисов, желающих оставаться конкурентоспособными на рынке. Внедрение автоматизированных решений позволяет снизить затраты, повысить качество обслуживания и ускорить работу. Стремясь к оптимизации процессов, владельцы шиномонтажных мастерских смогут не только улучшить свои финансовые показатели, но и обеспечить высокий уровень обслуживания для своих клиентов.

Список литературы

1. Drive2.ru. – Робот-шиномонтажник в шинных центрах. – URL:<https://www.drive2.ru/> (дата обращения: 20.03.2025).
2. CRMindex. CRM для шиномонтажа – URL: <https://crmindex.ru/for/shinomontazh> (дата обращения: 20.03.2025).
3. Saby. – URL: https://saby.ru/help/roz/ready_solutions/tires (дата обращения: 20.03.2025).

References

1. Drive2.ru. – Robot tire fitter in tire centers. – URL: <https://www.drive2.ru/> (date of access: 20.03.2025).

2. CRMindex. CRM for tire fitting – URL: <https://crmindex.ru/for/shinomontazh> (date of access: 20.03.2025).

3. Saby. – URL: https://saby.ru/help/roz/ready_solutions/tires (date of access: 20.03.2025).

**АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ
В ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛИЦАХ
AUTOMATION OF MICROCLIMATE CONTROL
IN INDUSTRIAL GREENHOUSES**

Исмаилов Э.Б., студент

Стариков А.В., д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

star123@yandex.ru

Ismailov E.B., Student

Starikov A.V., DSc (Engineering), Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье дан обзор основных понятий, методов и средств для автоматизации управления микроклиматом в промышленных теплицах. Рассмотрена структурная организация управления автоматизированной теплицей, включающая автоматизированное рабочее место агронома-технолога (верхний уровень), микроконтроллеры и программируемые логические контроллеры (средний уровень), разнообразные датчики и исполнительные механизмы (нижний уровень).

Summary: The article gives an overview of the basic concepts, methods and means for automation of microclimate control in industrial greenhouses. The structural organization of automated greenhouse control is considered, including automated workplace of agronomist-technologist (upper level), microcontrollers and programmable logic controllers (middle level), various sensors and actuators (lower level).

Ключевые слова: промышленная теплица, микроклимат, управление, автоматизация.

Keywords: industrial greenhouse, microclimate, control, automation.

Введение

Обеспечение продовольственной безопасности страны – одна из высокоприоритетных государственных задач. При ее решении существенное значение имеет снабжение населения овощами. В силу климатических условий во многих регионах России не удастся осуществлять интенсивное выращивание овощных культур в открытом грунте, поэтому необходимо развивать и совершенствовать тепличное хозяйство.

Тепличный бизнес в России имеет относительно давнюю историю [1]. Первые теплицы в России появились более 300 лет назад, в промышленном масштабе овощи, зелень, цветы, фрукты, декоративные деревья и саженцы стали выращиваться в закрытом грунте при советской власти. После распада СССР тепличное хозяйство постепенно приходило в упадок, достаточно отметить, что к 1997 году площадь тепличных сооружений сократилась вдвое по сравнению с 1991 годом.

В последние годы повышается интерес инвесторов к тепличному выращиванию и реализации овощей. С учетом этого стали увеличиваться площади, отводимые под тепличное хозяйство. Поскольку установленная в давно существующих теплицах автоматика в значительной степени морально и физически устарела, назрела необходимость комплексной автоматизации и компьютеризации управления технологическими процессами тепличного выращивания овощных и ягодных культур [2].

Кроме того, одна из основных проблем производства внесезонной продукции заключается в ее высокой себестоимости вследствие значительных затрат на энергоресурсы. Энергосбережение также можно обеспечить за счет более качественного решения задач управления микроклиматом теплиц. Таким образом, задача по совершенствованию методов и средств автоматизации управления микроклиматом в промышленных теплицах является актуальной и практически важной.

Микроклимат теплицы

Поддержание микроклимата в теплице выполняется с целью создания климатических условий, оказывающих благоприятное влияние на всхожесть, произрастание и урожайность тепличных культур. Микроклимат теплицы определяется рядом параметров, таких как температура и влажность воздуха и почвы, движение и состав атмосферного воздуха в теплице, уровень pH почвы и других.

Параметры микроклимата теплицы являются контролируемыми, т.е. их значения следует изменять в зависимости от роста растений (по сезонам года), со сменой дня и ночи, при солнечной и пасмурной погоде, от проветривания теплицы. Кроме того, для разных тепличных культур требуются свои оптимальные параметры микроклимата.

Задание и поддержание оптимальных параметров микроклимата в теплице имеют свои особенности. Например, толщина обычного остекления теплицы составляет всего 4 мм. По этой причине любые изменения внешних погодных условий (например, изменение наружной температуры, выпадение снега или дождя, яркое солнце, сильные порывы ветра) приводят к изменению значений таких параметров, как температура воздуха и почвы в теплице. Чтобы обеспечить повышение значений температуры воздуха и температуры почвы в теплице при понижении наружной температуры потребуются некоторый промежуток времени. Этот временной промежуток необходим для заполнения труб системы отопления горячей водой и вытеснения ею холодной воды с последующим повышением температуры в теплице.

Таким образом, автоматизированная система управления микроклиматом с учетом инерционности технологических операций при изменении параметров микроклимата в теплице должна основываться на методах и алгоритмах прогнозирования. Цель использования прогнозных алгоритмов состоит в опережающей подаче соответствующих команд следующим инженерным системам: отопления, проветривания, досвечивания, зашторивания, туманообразования. Также следует иметь в виду, что точность установки и поддержания параметров микроклимата в теплице должна быть достаточно высокой (например, для температуры воздуха и почвы отклонение от заданных значений должно составлять $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$).

Классификация промышленных теплиц

Промышленная теплица представляет собой специальное закрытое сооружение с покрытием из светопрозрачного материала, предназначенное для выращивания тепличных культур. В качестве покрывающего материала теплицы обычно используются стекло или синтетическая пленка. Размеры и оборудование промышленной теплицы позволяют организовать полный цикл выращивания той или иной сельскохозяйственной культуры.

Для классификации (типизации) теплиц могут применяться различные эксплуатационные, конструктивные и строительные признаки. Теплицы различаются по назначению, по сезонности использования, по технологии выращи-

вания растений, по виду светопрозрачного материала, по способу обогрева, по использованным конструктивно-планировочным решениям, по профилю поперечного сечения.

Теплицы могут подразделяться на грунтовые и стеллажные. В теплицах первого вида для выращивания сельскохозяйственных культур используется грунтовый слой на полу теплицы. В теплицах второго вида используются стеллажи (дощатые полки с грунтом). Различают также почвенные теплицы, в которых для выращивания растений используются плодородные почвенные смеси, и гидропонные, в которых используются субстраты и питательные растворы.

Теплицы могут подразделяться на зимние и весенние в зависимости от сроков использования. Зимние теплицы эксплуатируются круглогодично и, как правило, имеют остекленное покрытие. Весенние теплицы, использующиеся весной, летом и частично осенью, могут иметь как остекленное, так и пленочное покрытие.

Теплицы по конструктивным особенностям могут подразделяться на однозвенные (ангарные) и многозвенные (блочные). По профилю поперечного сечения теплицы бывают односкатные и двухскатные. В свою очередь, двухскатные теплицы могут иметь равные и неравные, плоские и цилиндрические скаты. На практике широкое распространение получили блочные теплицы (блоки теплиц), представляющие собой соединение нескольких двухскатных теплиц, у которых вместо внутренних стен и перегородок используются опоры.

Теплицы по типу используемых основных несущих конструкций подразделяются на каркасные и бескаркасные. В свою очередь, каркасные теплицы могут быть рамными, стоечно-балочными, арочными, сводчатыми (куполообразными), вантовыми (подвесными) и воздушно-опорными.

Необходимо отметить, что поскольку промышленные теплицы оснащены множеством исполнительных инженерных (технологических) систем, выбор указанных выше критериев оказывается весьма важным для определения оптимальной стратегии поддержания микроклимата в теплице [3].

Инженерные системы промышленных теплиц

Современные промышленные теплицы оборудованы множеством исполнительных инженерных (технологических) систем. Функционирование этих систем обеспечивает поддержание заданного микроклимата, требуемого для роста растений [4].

Система отопления. С помощью этой системы поддерживается заданная температура воздуха и почвы в теплице. В системе отопления теплицы могут

использоваться несколько (до 5 включительно) отдельных контуров, с помощью которых осуществляется регулирование температуры в теплице. Для регулирования применяются смесительные клапаны, обеспечивающие смешение в контурах отопления горячей воды, поступающей в теплицу от теплоисточника, с водой, прошедшей через контуры отопления и отдавшей свое тепло. Смешение горячей и холодной воды в необходимой пропорции обеспечивает поддержание заданной температуры воздуха и почвы в теплице.

Система фрамужной (форточной) вентиляции. Обеспечивает естественный приток в теплицу воздуха снаружи с помощью открытия фрамуг, расположенных в стеклянной крыше. Общая площадь фрамуг может составлять до 30 % от площади крыши теплицы. Для открытия и закрытия фрамуг используются моторы-редукторы.

Система зашторивания. Предотвращает от перегрева воздух и почву в теплице в периоды избыточной солнечной радиации. Система зашторивания позволяет создавать в теплице режим притенения, когда над растениями с помощью моторов-редукторов разворачивается экран из полимерного непрозрачного материала, препятствующий поступлению солнечного света на почву с растениями. В холодные периоды года систему зашторивания также может использоваться для снижения потерь тепла (до 30 %) через остекление теплицы.

Система полива. Обеспечивает орошение водой почвы и тепличных растений. Существуют различные типы систем полива, такие как капельное орошение, микродождевание, подземное орошение и другие. Дополнительно к системе полива может быть подключена установка для получения электрохимически активированной воды, используемой для дезинфекции и стимулирования роста тепличных культур [5, 6].

Система подкормки растений CO₂. Обеспечивает содержание необходимой концентрации углекислого газа (CO₂) в воздухе теплицы. Наличие углекислого газа необходимо для осуществления процесса фотосинтеза растений, обеспечивающего их рост. По этой причине концентрация CO₂ в воздухе является таким же важным параметром микроклимата теплицы, как температура и влажность. Для подкормки тепличных растений CO₂ можно использовать отходящие газы котельной или жидкую углекислоту.

Система досвечивания. Поддерживает в теплице определенный уровень освещенности (в диапазоне 120...250 Вт/м²) в условиях недостаточного естественного освещения. При использовании интенсивной технологии выращи-

ния растений в теплицах рекомендуется установка систем ассимиляционного освещения.

Система вентиляции. Обеспечивает естественный воздухообмен через вентиляционные проемы, расположенные в крыше теплицы. Система вентиляции теплиц избавляет человека от лишней работы, а растениям обеспечиваются комфортные условия. В промышленных теплицах она работает автоматически в зависимости от климатических условий.

Система рециркуляции воздуха. Осуществляет принудительный воздухообмен в теплице с помощью вентиляторов, установленных в верхней ее части. Включение вентиляторов обеспечивает движение воздуха, приводящее к выравниванию теплового поля и ускорению конвективного теплообмена.

Система туманообразования (система испарительного охлаждения и доувлажнения). Обеспечивает поддержание заданных значений температуры и влажности независимо от типа вентиляции – искусственной или естественной. Данная система позволяет распылять воду под давлением до 100 атмосфер, при этом с помощью специальных форсунок удастся добиться образования водяных частиц диаметром не более 10 микрон. Малые размеры частиц дают им возможность зависать в воздухе, что и обеспечивает эффект образования тумана.

Система туманообразования позволяет понизить температуру воздуха на 5-7 °С по сравнению с температурой наружного воздуха. Это происходит за счет поглощения тепла при испарении мелкодисперсной влаги, подаваемой в теплицу.

Системы туманообразования имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными способами распыления воды. Их применение обеспечивает создание подходящих для растений фитоклиматических условий. При увлажнении туманом улучшается всхожесть семян и стимулируются процессы роста тепличных растений. Системы туманообразования применяются с одинаковой результативностью в течение года. В летний период атмосфера в теплице охлаждается, а уровень влажности повышается. В зимний период системы тумана поддерживают приемлемый уровень влажности, который снижается в связи с работой систем отопления.

Дополнительно к системе туманообразования может быть подключена установка для получения электрохимически активированной воды. При использовании католита она позволяет стимулировать рост тепличных растений, а при использовании анолита – провести дезинфекцию растений, воздушной среды и элементов технологического оборудования в теплице [7].

Метеостанция входит в состав тепличных промышленных комплексов и обеспечивает непрерывный мониторинг показателей внешней окружающей среды (температура и влажность воздуха, уровень выпавших осадков, скорость и направление ветра, освещенность и другие). Основная задача мониторинга – собрать объективные данные о состоянии внешней среды с целью принятия оперативных мер по защите конструкций теплиц и тепличных растений.

Метеостанция содержит следующие датчики:

- датчик скорости ветра, определяющий скорость ветра и предоставляющий ее текущее значение по запросу контроллера. Контроллер формирует управляющий сигнал на закрытие открытых фрамуг при достижении предельных значений, чтобы предотвратить повреждение конструкции фрамуг и самой теплицы;

- датчик направления ветра, определяющий направление ветра и предоставляющий данные о нем по запросу контроллера. Контроллер принимает решение о степени закрытия наветренной и подветренной стороны фрамуг, чтобы предотвратить их повреждения. Датчик направления ветра используется совместно с датчиком скорости ветра;

- датчик осадков, определяющий наличие дождя и снега. Предоставляет информацию об осадках по запросу от контроллера, который принимает решение и формирует управляющий сигнал на закрытие фрамуг для предотвращения попадания осадков внутрь теплицы;

- датчик температуры и влажности воздуха, определяющий температуру и влажность наружного воздуха. Предоставляет информацию по запросу от контроллера, который формирует управляющие сигналы на открытие или закрытие фрамуг, обеспечивая необходимый микроклимат в теплице.

Согласованная работа перечисленных выше инженерных систем требует использования эффективной системы автоматизированного управления, которая предназначена для контроля параметров микроклимата промышленных теплиц.

Функции автоматизированного управления микроклиматом теплицы

Основные функции АСУ ТП (в частности, при автоматизированном управлении микроклиматом в теплице) включают [4]:

1. Автоматическое управление параметрами микроклимата на основе закона ПИД регулирования, позволяющего обеспечить оптимальные переходные процессы при запуске и остановке оборудования.

2. Сбор и первичная обработка исходных данных, выдача управляющих воздействий, отображение информации о состоянии технологического процесса.

3. Идентификация, сигнализация и регистрация аварийных ситуаций, отклонений процесса от заданных пределов, отказов технологического оборудования.

4. Отображение информации о ходе технологического процесса и состоянии технологического оборудования (например, в виде мнемосхем с индикацией на них значений параметров).

5. Дистанционное управление работой технологического оборудования с использованием автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора.

6. Регистрация параметров технологического процесса, контролируемых событий, выполненных действий оператора и автоматическое архивирование их в базе данных сервера.

7. Предоставление информации из базы данных сервера по требованию пользователя в удобочитаемом виде (тренды, таблицы, графики).

Структура автоматизированной системы управления микроклиматом теплицы

Структура современной АСУ ТП предусматривает три следующие уровня: нижний – полевой уровень, средний – уровень базовой автоматизации производственных процессов (контроллеры управления), верхний – уровень управления технологиями (на платформе SCADA-системы).

На рисунке 1 показана трехуровневая структура АСУ микроклимата промышленной теплицы [2].

На нижнем (полевом) уровне используются датчики (сенсоры), исполнительные механизмы (актуаторы), вспомогательные устройства и пульта управления. Оборудование этого уровня обеспечивает измерение физических параметров и преобразование их в типовые виды электрических сигналов, получение управляющих сигналов от оборудования (контроллеров) среднего уровня и непосредственное управление технологическим процессом в соответствии с полученными сигналами.

На среднем (управляющем) уровне используются программируемые логические контроллеры (ПЛК) с распределенной системой ввода-вывода.

На верхнем уровне, представленном серверами и автоматизированными рабочими местами (АРМ) операторов, осуществляется централизованное управление технологическим процессом [8].

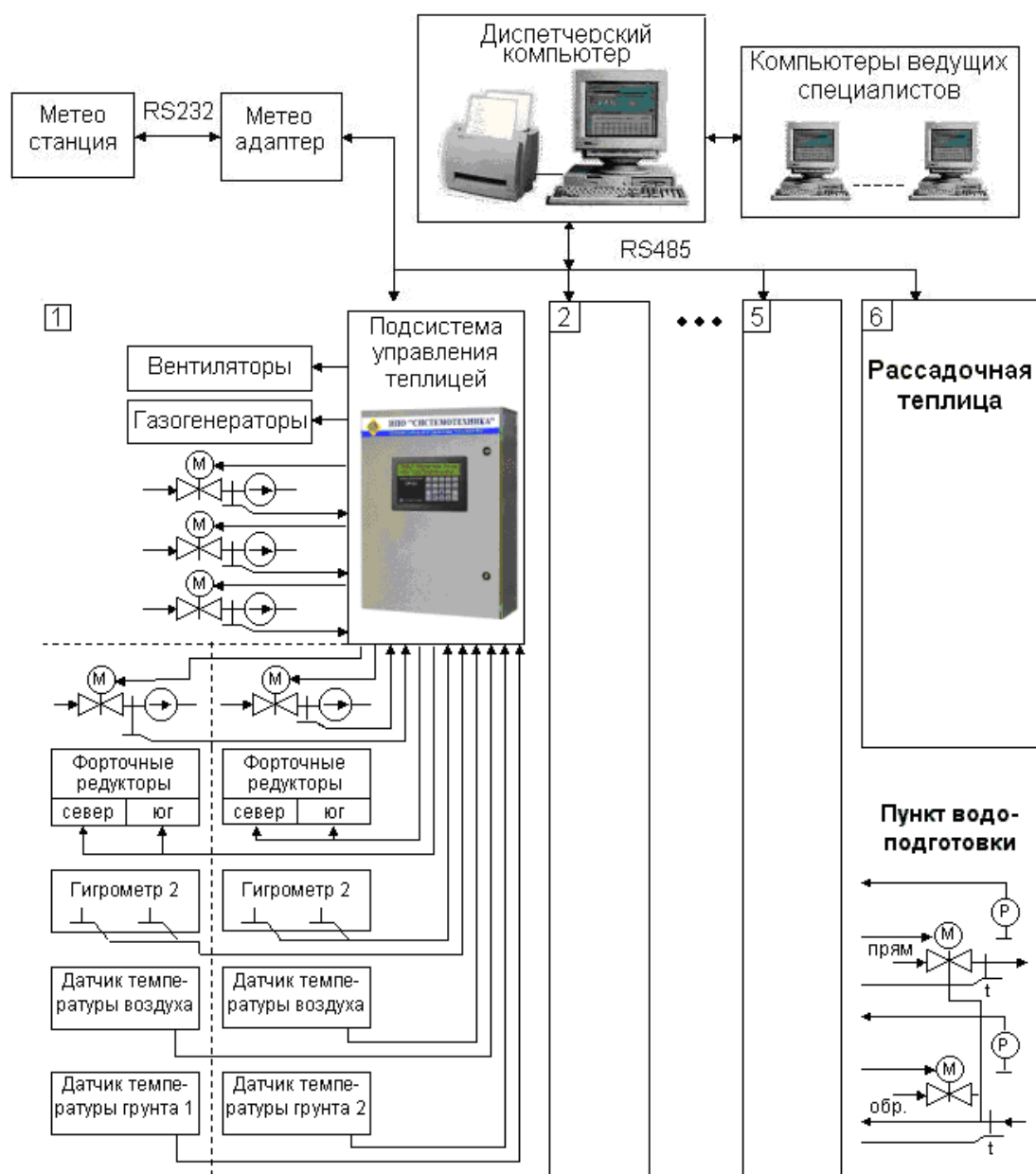


Рисунок 1 – Структура АСУ микроклимата промышленной теплицы
Программное обеспечение автоматизированной системы управления
микроклиматом теплицы

Как отмечалось выше, АСУ микроклиматом промышленной теплицы должна обеспечивать следующие минимальные функциональные возможности:

- программное задание суточного цикла изменения контролируемых параметров микроклимата в теплице;
- контроль микроклимата в теплице и отслеживание внешних метео-условий;
- поддержание заданного микроклимата в теплице;
- анализ получаемых данных и оперативное информирование персонала о возникновении критических ситуаций.

Для реализации указанных возможностей помимо технических средств автоматизации используется программное обеспечение. Программное обеспечение для АСУ ТП представлено следующими двумя видами:

- программное обеспечение общего назначения, включающее базовый набор программ, не имеющих привязки к специфическим особенностям конкретного предприятия и технических объектов автоматизации. К подобному типу программного обеспечения относятся операционные системы, текстовые редакторы, компиляторы языков программирования, SCADA-системы и другие;
- специальное программное обеспечение, разработанное для решения специальных задач автоматизации, учитывающее специфику предметной области и особенности используемых технических средств автоматизации и направленное на достижение оптимальной продуктивности. Примером специального ПО является графический интерфейс АСУ ТП, позволяющий создавать и визуализировать технологические процессы.

Для реализации верхнего уровня АСУ ТП в промышленных теплицах целесообразно использовать SCADA-системы в качестве платформы для создания человеко-ориентированного интерфейса управления системами промышленной автоматизации. Важнейшей особенностью SCADA-систем является поддержание работы в режиме реального времени, при котором обеспечивается получение оперативной информации о контролируемых параметрах, выявляются критические состояния технологического процесса и предотвращаются аварийные ситуации. Одним из ранних примеров успешного использования российской SCADA-системы TRACEMODE в автоматизации тепличного хозяйства является внедрение первой очереди АСУ микроклиматом на агрокомбинате «Московский» в 2000 году [9].

Специальное программное, ориентированное на использование программируемых логических контроллеров (ПЛК), решает специфические задачи управления технологическими процессами конкретного типа. Структура специального программного обеспечения автоматизированных систем должна учитывать требования, налагаемые используемым программным обеспечением общего назначения, в частности, операционной системой, системами программирования, отладки и контроля [10].

Заключение

Автоматизация управления микроклиматом является частью более общей задачи по проектированию, разработке и внедрению АСУ ТП в промышленных теплицах. При этом разработка и внедрение АСУ микроклимата обеспечивает

создание базовых условий для оптимального управления ходом технологического процесса в промышленной теплице, направленного на увеличение объема и повышение качества выращиваемой тепличной продукции, а также на снижение энергозатрат на ведение тепличного хозяйства.

Список литературы

1. История появления и развития тепличного бизнеса в России. – URL: <http://www.greenrussia.ru/main/poleznoe/1092-istoriya-poyavleniya-i-razvitiya-teplichnogo.html> (дата обращения: 19.03.2025).
2. Карандашев, А. П. Система автоматизированного управления микроклиматом блока теплиц. – URL: http://www.syst.ru/vnedren/sau_mkt.htm (дата обращения: 19.03.2025).
3. Система управления микроклиматом тепличного комплекса «Анна». – URL: https://insat.ru/projects/industries_solutions/agricultural_industry/climate_control_system_anna (дата обращения: 19.03.2025).
4. Система управления микроклиматом теплицы. – URL: <https://www.lis-agro.com/wp-content/uploads/2022/04/upravlenie-klimatom.pdf> (дата обращения: 19.03.2025).
5. Стариков, А. В. Система комбинированного орошения в тепличных комплексах с использованием электрохимически активированной воды / А. В. Стариков, А. А. Старикова // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: материалы национальной научно-практической конференции. – Воронеж, 2020. – С. 492-498.
6. Starikov, A. V. Automation of Combined Irrigation System Control in Greenhouses with Electrochemically Activated Water / A. V. Starikov, A. A. Gribanov, A. A. Starikova // International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2022. – Access mode: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9906670>, cap. from the screen (access date: 03/19/2025).
7. Стариков, А. В. Стимулирование роста тепличных растений путем подпитки электрохимически активированной водой с использованием специальной системы туманообразования / А. В. Стариков, А. В. Колесников, В. В. Найдено // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2017. – Т.5, № 1 (27). – С. 345-350.
8. Автоматизация управления процессами выращивания культур в тепличных комплексах вертикального типа / А. В. Рябинов, М. С. Виноградов,

Д. К. Леванеский, С.И. Лоскутов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2023. – №2. – С. 201-213. – DOI: 10.36107/spfp.2023.381.

9. TRACEMODE в автоматизации теплиц на агрокомбинате «Московский». – URL: http://www.adastra.ru/products/runtime/scada/rtm6/news/agrokomb_moskovsky (дата обращения: 19.03.2025).

10. О специальном программном обеспечении автоматизированных систем управления технологическими процессами. – URL: <https://ritm.pro/specialnoe-programmnoe-obespechenie-avtomatizirovannyh-sistem-upravleniya-tehnologicheskimi-processami> (дата обращения: 19.03.2025).

References

1. The history of the emergence and development of the greenhouse business in Russia. – URL: <http://www.greenrussia.ru/main/poleznoe/1092-istoriya-poyavleniya-i-razvitiya-teplichnogo.html> (date of access: 03.19.2025).

2. Karandashev, A. P. Automated climate control system of the greenhouse block / A. P. Karandashev. – URL: http://www.syst.ru/vnedren/sau_mkt.htm (date of access: 03.19.2025).

3. Microclimate management system of the Anna greenhouse complex. – URL: https://insat.ru/projects/industries_solutions/agricultural_industry/climate_control_system_anna (date of access: 03.19.2025).

4. Greenhouse microclimate management system. – URL: <https://www.lis-agro.com/wp-content/uploads/2022/04/upravlenie-klimatom.pdf> (date of access: 03.19.2025).

5. Starikov, A.V. Combined irrigation system in greenhouse complexes using electrochemically activated water / A.V. Starikov, A. A. Starikova // Mechanization and automation of technological processes in agricultural production: proceedings of the national scientific and practical conference. – Voronezh, 2020. – Pp. 492-498.

6. Starikov, A. V. Automation of Combined Irrigation System Control in Greenhouses with Electrochemically Activated Water / A. V. Starikov, A. A. Gribanov, A. A. Starikova // International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2022. – Access mode: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9906670>, cap. from the screen (date of access: 03.19.2025).

7. Starikov, A.V. Stimulating the growth of greenhouse plants by feeding with electrochemically activated water using a special misting system / A.V. Starikov,

A.V. Kolesnikov, V. V. Naidenko // Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. – 2017. – Vol.5, No. 1 (27). – Pp. 345-350.

8. Automation of crop management processes in vertical-type thermal complexes / A.V. Ryabinov, M. S. Vinogradov, D. K. Levanesky, S.I. Loskutov // Storage and processing of agricultural raw materials. – 2023. – No. 2. – Pp. 201-213. – DOI: 10.36107/spfp.2023.381.

9. TRACE MODE in greenhouse automation at the Moskovsky agro-industrial complex. – URL: http://www.adastra.ru/products/runtime/scada/rtm6/news/agrokomb_moskovsky (accessed: 03.19.2025).

10. About special software for automated process control systems. – URL: <https://ritm.pro/specialnoe-programmnoe-obespechenie-avtomatizirovannyh-sistem-upravlenija-tehnologicheskimi-processami> (date of request: 03.19.2025).

**СИНХРОНИЗАЦИЯ СХЕМЫ МОДУЛЯ ОБВЯЗКИ СКВАЖИН В АСУ
ЖЦИ С ТОЧНОЙ КОПИЕЙ ЭЛЕКТРОННОГО МАКЕТА ИЗДЕЛИЯ
SYNCHRONIZATION OF THE WELL PIPING MODULE CIRCUIT
IN THE ASCS LCI WITH AN EXACT COPY OF THE ELECTRONIC
MODEL OF THE PRODUCT**

Кишкань П.В., студент

Мещерякова А.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет

имени Г.Ф. Морозова»,

г. Воронеж, Россия

Kishkan P.V., student

Meshcheryakova A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE « Voronezh State University of Forestry and Technologies named after

G.F. Morozov»,

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматривается разработка технологии синхронизации 3D-модели сборки изделия со схемой модуля обвязки скважин в автоматизированной системе управления жизненным циклом изделий.

Summary: The article discusses the development of a technology for synchronizing a 3D model of a product assembly with a well piping module diagram in an automated product life cycle management system.

Ключевые слова: автоматизация, модуль, жизненный цикл, точность сборки, синхронизация.

Keywords: automation, module, life cycle, assembly accuracy, synchronization.

Сборка первых экземпляров нового изделия до появления натурного макета затрудняется отсутствием возможности визуальной оценки позиционирования трубопроводов и агрегатов. На анализ сборочного чертежа изделия и схемы затрачивается очень большое количество рабочего времени. Процесс сборки нового изделия по бумажному носителю требует непосредственного

присутствия ведущего конструктора компоновок изделия для предоставления разъяснений по стыковке основных видов изделия в чертеже с блоками, агрегатами и узлами на схеме сборочного чертежа.

Возможности, предоставляемые внедряемой на предприятии автоматизированной системы управления жизненным циклом изделий (АСУ ЖЦИ), позволяют существенно упростить процесс сборки изделия без натурного макета [1, 2].

На базе АСУ ЖЦИ была разработана технология, позволяющая синхронизировать 3D модель сборки изделия со схемой МОС (модуля обвязки скважин) [3].

Синхронизированная с точным электронным макетом изделия схема МОС включает в себя:

- компоновочную схему (МОС);
- схему сборочного чертежа;
- копию точного электронного макета МОС (упрощённую).

На рисунке 1 представлены основные этапы подготовительной работы по созданию синхронизированной схемы сборочного чертежа с точным электронным макетом изделия.

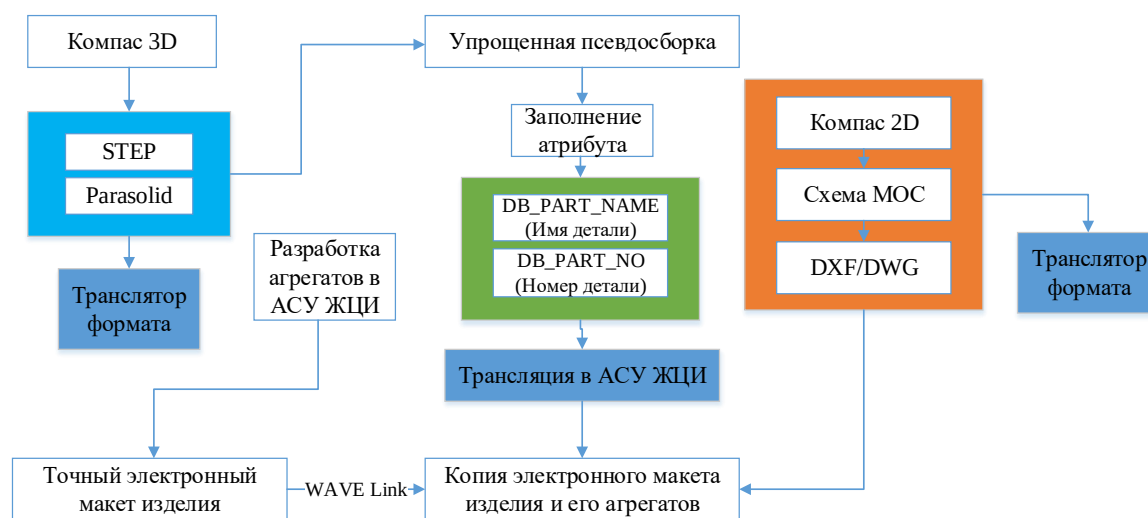


Рисунок 1 – Этапы подготовительной работы

До настоящего времени формирование электронного макета изделия проводилось с использованием программного обеспечения КОМПАС-3D и Компас 2D на файловом уровне с частичным размещением основных агрегатов и трубопроводов в АСУ ЖЦИ. Сборочный чертеж нового изделия, разрабатывался в программах Компас 3D и Компас 2D и не являлся ассоциативным. Основные виды конструкции модуля обвязки скважин в сборочном чертеже были определены путем трансляции из ПО Компас 3D, а непосредственно схема сборочного

чертежа формировалась в ПО Компас 2D, что приводило к увеличению трудоемкости в момент проведения изменений, так как фиксация 3D-моделей деталей и сборок изделия, контроль изменений осложнялись проблемой взаимодействия между производством и конструкторскими подразделениями.

Применение АСУ ЖЦИ как единой среды для работы с конструкторской и технологической документацией на изделие позволяет существенно сократить трудозатраты на приведение в соответствие моделей и чертежей, созданных в различном ПО.

Основные этапы создания синхронизированной схемы сборочного чертежа с точным электронным макетом изделия в АСУ ЖЦИ включают в себя:

1) Создание компонентов упрощённой псевдосборки (технологической) основных агрегатов с набором определенных данных, которые связывают 3D-модель и схему сборочного чертежа.

2) Добавление в копию электронного макета изделия упрощённых компонентов псевдосборки.

3) Организация с расположенных в копии электронного макета изделия 3D-моделей основных агрегатов и входящего в неё компонента схемы сборочного чертежа с отображением 2D данных агрегатов WAVE-связи в компонент псевдосборки (технологической).

Упрощенная схема синхронизации схемы МОС с точным электронным макетом изделия представлена на рисунке 2.

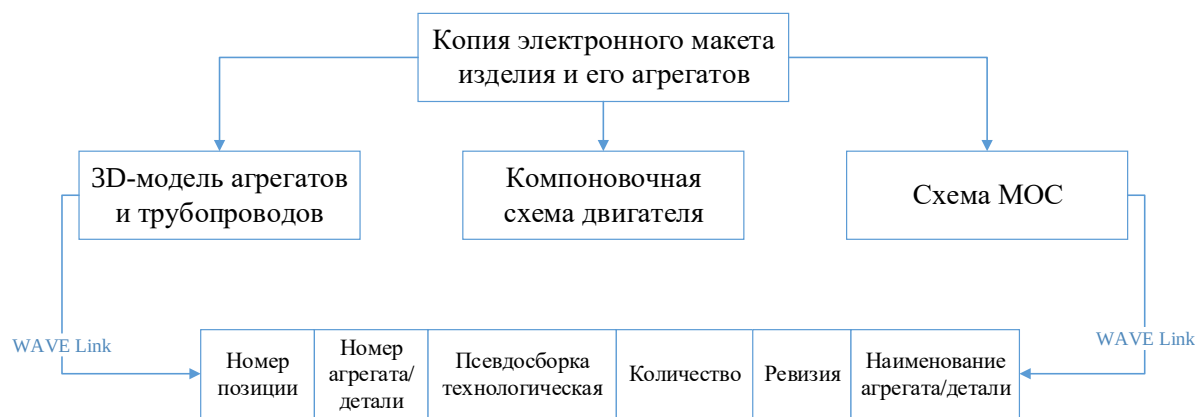


Рисунок 2 – Упрощённая схема синхронизации

После развертывания АСУ ЖЦИ на все службы и подразделения предприятия схема решений для создания синхронизированной схемы модуля обвязки скважин с точным электронным макетом изделия примет вид, представленный на рисунке 3.

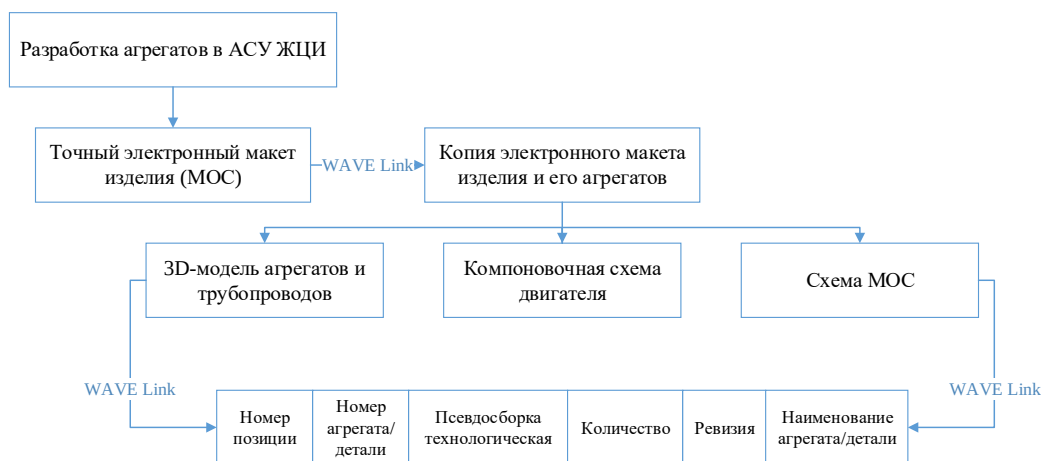


Рисунок 3 – Расширенная упрощённая схема синхронизации

В результате проведенных работ создана упрощённая сборка нового изделия с применением технологии синхронизации 3D-модели сборки МОС со схемой сборочного чертежа. На рисунке 4 представлена упрощенная схема синхронизации в ПО CADNX.

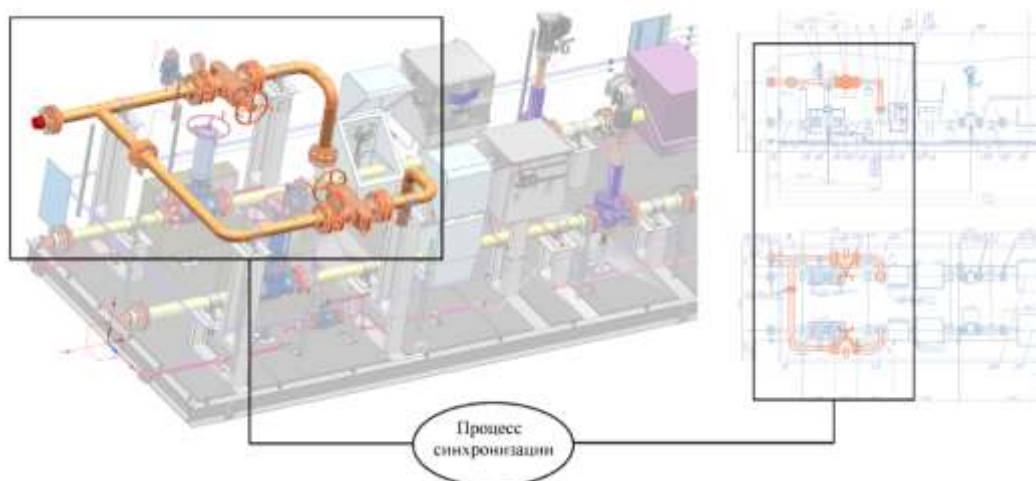


Рисунок 4 – Упрощённая схема синхронизации в ПО NX

Вышеописанная технология была внедрена в цехе №*** сборки МОС. Использование синхронизации позволяет сотрудникам цеха визуально оценивать позиционирование узлов, агрегатов и обвязки изделия в сборке и сокращать время анализа сборочного чертежа.

Список литературы

1. Тороп, Д.Н. Teamcenter. Начало работы / Д.Н.Тороп, В.В. Терликов. – М.: ДМКПресс, 2011. – 280 с.
2. Teamcenter. – URL: http://www.weta.ru/doc/siemens/4680_tcm802-79817.pdf (дата обращения: 20.03.2025).

3. Обзор системы Teamcenter. – URL: https://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/Images/Teamcenter%20overview_tcm802-70865.pdf (дата обращения: 20.03.2025).

References

1. Torop, D.N. Teamcenter. Getting Started / D.N. Torop, V.V. Terlikov. – М.: DMK Press, 2011. – 280 p.

2. Teamcenter. – URL: http://www.weta.ru/doc/siemens/4680_tcm802-79817.pdf (Accessed: 20.03.2025).

3. Teamcenter System Overview. – URL: https://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/Images/Teamcenter%20overview_tcm802-70865.pdf (Accessed: 20.03.2025).

**АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
В АВТОКЛАВЕ**

**AUTOMATION OF THE TEMPERATURE CONTROL SYSTEM
IN AN AUTOCLAVE**

Ключников Е.А., студент

Щербакова И.В., к.т.н., доцент

**ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»**

г. Воронеж, Россия

egor.kl@list.ru

Klyuchnikov E.A., student

Shcherbakova I.V., CSc (Engineering), Associate Professor

**FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov»**

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматривается подход к разработке системы автоматического регулирования температуры в автоклаве.

Summary: The article discusses an approach to the development of an automatic temperature control system in an autoclave.

Ключевые слова: автоматизация, автоклав, системы автоматического регулирования.

Keywords: automation, autoclave, automatic control systems.

В настоящее время одним из направлений повышения эффективности, точности и безопасности работы промышленного оборудования является внедрение систем автоматизация технологических процессов[1-7]. В различных отраслях производства в состав технологического оборудования может входить такое устройство как автоклав.

Автоклав представляет собой герметичную камеру, предназначенную для проведения процессов стерилизации, термической обработки и синтеза, с использованием высокого давления и температуры.

Важнейшим параметром работы автоклава является температура. Точное регулирование температуры влияет на качество выполняемых операций, безопасность процесса и энергоэффективность системы. Традиционные способы управления температурой зачастую не обеспечивают требуемую точность и адаптивность. Это особенно заметно в тех случаях, когда необходимо быстро реагировать на изменения внешних условий или поддерживать сложные температурные режимы.

Устранить указанные недостатки позволяет применение автоматизированных систем регулирования температуры. Автоматизация не только минимизирует участие человека в процессе регулирования, но и повышает точность, надежность и гибкость работы автоклава.

Рассмотрим компоненты автоматизированных систем регулирования температуры в автоклаве. Основными элементами таких систем являются датчики. Наиболее популярными типами датчиков можно считать следующие:

- Термопары, предназначенные для измерения высоких температур.
- Термисторы, обеспечивающие высокую точность измерений.
- Инфракрасные датчики, позволяющие измерять температуру без контакта с поверхностью.

Выбор датчика определяется требуемой точностью, диапазоном измерений и условиями эксплуатации.

Современные автоматизированные системы управления используют программируемые логические контроллеры (ПЛК). Они выполняют следующие функции:

- сбор данных с датчиков;
- анализ текущих значений температуры;
- корректировка работы нагревательных элементов в режиме реального времени;
- отображение данных в пользовательском интерфейсе.

Программное обеспечение микроконтроллеров может содержать различные алгоритмы. Наиболее востребованными в современных системах управления являются технологии, основанные на применении:

- ПИД-регуляторов, обеспечивающих точное поддержание заданной температуры;
- нечёткой логики, учитывающей неопределённости в технологическом процессе;

- машинного обучения, позволяющего прогнозировать изменения температуры и адаптироваться к новым условиям.

Контроллеры управляют работой исполнительных устройств, обеспечивающих поддержание в системе заданных параметров.

Температура в автоклаве может изменяться путем регулирования расхода пара. В этом случае контур регулирования будет включать в себя: объект регулирования (автоклав), датчик температуры, регулирующее устройство; исполнительный механизм постоянной скорости, снабженный датчиком положения его вала, регулирующий орган. Структурная схема замкнутой системы регулирования представлена на рисунке 1.

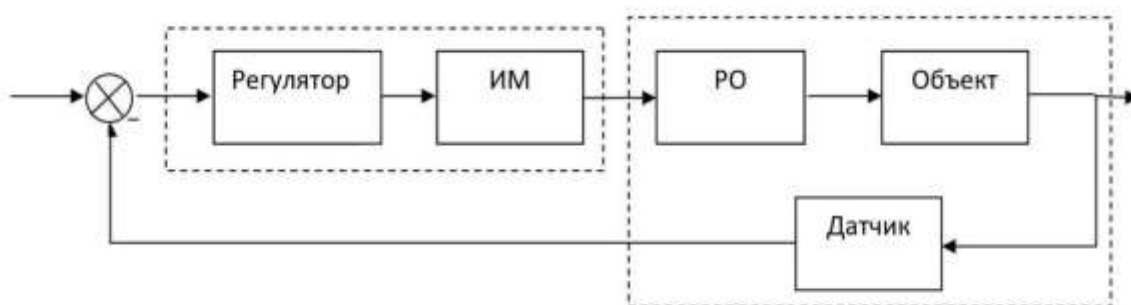


Рисунок 1—Структурная схема системы автоматического регулирования температуры в автоклаве

В качестве управляющего воздействия принимается угол поворота вала исполнительного механизма j , выраженный в процентах. Полностью закрытому состоянию рабочего органа соответствует $j=0\%$, полностью открытому состоянию соответствует $j=100\%$. В качестве регулируемой координаты принимается сигнал, формируемый на выходе датчика температуры.

Исполнительный механизм может находиться в трех состояниях: движение вперед, остановка и движение назад. При наличии цифрового управляющего устройства регулирующее воздействие будет формироваться в соответствии с разностным уравнением

$$j_{i+1} = j_i + \Delta j_{i+1}, \quad (1)$$

где j_{i+1} – угол поворота вала исполнительного механизма к концу $(i+1)$ -го интервала коммутации; Δj_{i+1} – угол поворота вала за время $(i+1)$ -го интервала коммутации; j_i – угол поворота вала на начало $(i+1)$ -го интервала коммутации.

В соответствии с (1) для управления исполнительным механизмом необходимо на $(i+1)$ -м интервале коммутации обеспечить поворот вала на угол Δj_{i+1} . Это может быть реализовано несколькими способами.

1. Зная скорость вращения вала, требуемый угол поворота и интервал коммутации, можно рассчитать время, на которое необходимо включить исполнительный механизм.

2. Охватить исполнительный механизм отрицательной обратной связью по положению (рисунок 2). Такое включение позволяет подавать на вход системы требуемое значение угла поворота, которого должен достичь вал в конце $i+1$ -го интервала коммутации;

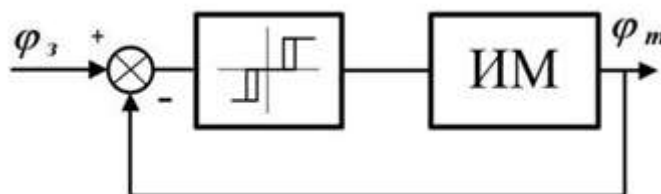


Рисунок 2 –Исполнительный механизм с отрицательной обратной связью по положению

Управлять скоростью перемещения вала исполнительного механизма на каждом интервале коммутации возможно с помощью частотного преобразователя.

Учитывая, что управление исполнительным механизмом возможно с помощью аналогового входного сигнала, а сама система с достаточной степенью точности аппроксимируется пропорциональным звеном, получим линеаризованную расчетную структурную схему, представленную на рисунке 3.

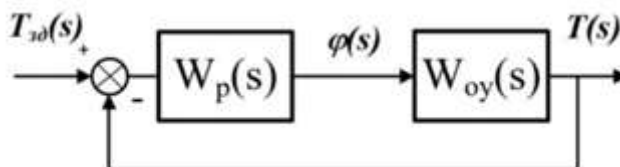


Рисунок 3 –Расчетная структурная схема регулирования температуры в автоклаве

Автоматизация системы регулирования температуры в автоклаве представляет ряд существенных преимуществ:

- автоматическая система минимизирует отклонения от заданной температуры, что особенно важно для критических процессов;
- оптимизация работы нагревательных элементов снижает энергопотребление;
- автоматическое отключение при выходе за пределы допустимых значений предотвращает аварийные ситуации;
- возможность настройки системы под различные режимы работы.

Следует отметить, что дальнейшее совершенствование системы автоматического регулирования температуры в автоклаве может быть связано с применением искусственного интеллекта для прогнозирования изменений температуры и адаптации к внешним факторам.

Внедрение автоматизированных решений позволяет не только повысить качество работы автоклавов, но и снизить затраты на их эксплуатацию.

Список литературы

1. Денисенко, В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В. В. Денисенко. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2014. – 606 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/111051> (дата обращения: 01.04.2025).
2. Джонсон, К. Д. Технология контрольно-измерительных приборов для управления процессами / К. Д. Джонсон. – Pearson Education, 2018. – 704 с.
3. Олексюк, Е. Ф. Интернет вещей в промышленности: оптимизация производственных процессов через IoT -технологии / Е. Ф. Олексюк // Вестник науки, 2024. – №12 (81). – Т. 3. – С. 1490-1497. –URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/internet-veschey-v-promyshlennosti-optimizatsiya-proizvodstvennyh-protsessov-cherez-iot-tehnologii> (дата обращения: 01.04.2025).
4. Сазонов, Г. Г. Основы автоматического управления : учебное пособие / Г. Г. Сазонов. – М. : ТНТ, 2018. – 235 с.
5. Сажин, С. Г. Средства автоматического контроля технологических параметров : учебник / С. Г. Сажин. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 337 с.
6. Системы управления технологическими процессами и информационные технологии : учебник для вузов / В. В.Троценко, В. К.Федоров, А. И.Забудский, В. В.Комендантов. – М.: Издательство Юрайт, 2025.– 136 с.– URL: <https://urait.ru/bcode/563623/p.1> (дата обращения: 01.04.2025).
7. Смит, К. А. Принципы и практика автоматического управления технологическими процессами / К. А. Смит, А. Б. Коррипио. –Wiley, 2016. – 592с.

References

1. Denisenko, V. V. Computer control of technological process, experiment, equipment / V. V. Denisenko. – Moscow : Goryachaya liniya-Telecom, 2014. – 606 p. – URL: <https://e.lanbook.com/book/111051> (date of access: 04.01.2025).

2. Johnson, K. D. Technology of control and measuring devices for process control / K. D. Johnson. – Pearson Education, 2018. – 704 p.
3. Oleksiuk, E. F. The Internet of Things in industry: optimization of production processes through IoT technologies / E. F. Oleksiuk // Bulletin of Science, 2024. – №12 (81). – Vol. 3. – pp. 1490-1497. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/internet-veschey-v-promyshlennosti-optimizatsiya-proizvodstvennyh-protsessov-cherez-iot-tehnologii> (date of access: 04.01.2025).
4. Sazonov, G. G. Fundamentals of automatic control : a textbook / G. G. Sazonov. – M. : TNT, 2018. – 235 p.
5. Sazhin, S. G. Means of automatic control of technological parameters : textbook / S. G. Sazhin. – St. Petersburg : Lan, 2022. – 337 p.
6. Technological process management systems and information technologies : a textbook for universities / V. V. Trotsenko, V. K. Fedorov, A. I. Zabudsky, V. V. Komendantov. – M. : Yurayt Publishing House, 2025. – 136 p. – URL: <https://urait.ru/bcode/563623/p.1> (date of access: 04.01.2025).
7. Smith, K. A. Principles and practice of automatic control of technological processes / K. A. Smith, A. B. Corripio. – Wiley, 2016. – 592 p.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА
RESEARCH OF METHODS AND MEANS FOR AN AUTOMATED
ECOLOGICAL MONITORING SYSTEM OF ATMOSPHERIC AIR**

Ковун Д.А., студент

Стариков А.В., д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

Wendows3@gmail.com

Kovun D.A., Student

Starikov A.V., DSc (Engineering), Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматриваются возможности автоматизации экологического мониторинга атмосферного воздуха.

Summary: The article discusses the possibilities automation of environmental monitoring of atmospheric air.

Ключевые слова: Экологический мониторинг, атмосферный воздух, автоматизированные системы, методы мониторинга, качество воздуха, сенсоры и датчики, отслеживание в реальном времени, обработка данных, экологические технологии, анализ данных, оценка воздействия на окружающую среду.

Keywords: Environmental monitoring, atmospheric air, automated systems, monitoring methods, air quality, sensors and detectors, real-time tracking, data processing, environmental technologies, data analysis, environmental impact assessment.

Введение

В современных условиях человечество встречается с глобальными изменениями климата и загрязнением окружающей среды. Загрязнение воздуха, во-

ды и почвы оказывают негативное влияние не только на экосистемы, но и на людей. Заболевания дыхательной и сердечно-сосудистой системы, онкологические заболевания находят чаще всего у людей, живущих в местности с наибольшим загрязнением воздуха. Загрязнённые воды в водоёмах приводит к ухудшению качества питьевой воды, распространению инфекционных заболеваний среди населения, отравляет живые организмы в воде. Для уменьшения антропогенной нагрузки связанной с развитием промышленности и нерациональным использованием природных ресурсов важную роль играет экологический мониторинг.

Экологический мониторинг позволяет оценивать состояние окружающей среды и разрабатывать меры по её охране, на основе данных о состоянии экосистем заблаговременно принимать решения о том, как бороться с негативными последствиями человеческой деятельности, помогает предотвращать экологические катастрофы.

Автоматизированные системы экологического мониторинга (АСЭМ) представляют собой эффективный инструмент для сбора, обработки и анализа данных о состоянии окружающей среды. Благодаря этим автоматизированным системам повышается точность и оперативность получения информации. За счёт таких систем можно получать информацию в кратчайшие сроки и сразу принимать решения для здоровья населения.

Экологический мониторинг

Экологический мониторинг – систематический процесс измерения, наблюдения и анализа, который позволяет выявлять изменения, оценивать последствия и разрабатывать рекомендации для предприятий или других объектов инфраструктуры.

В экологический мониторинг входят оценки качества воздуха, воды, почвы и оценка разнообразия флоры и фауны. В него входят следующие стадии: сбор, анализ данных, оценка экологии, разработка рекомендаций (рисунок 1).

На первом стадии данные могут собираться при помощи различных инструментов и методов для получения информации об экологической обстановке. Такими инструментами могут быть хроматографические измерения, запись данных с датчиков температуры, влажности, атмосферного давления, направления и скорости ветра, и других.

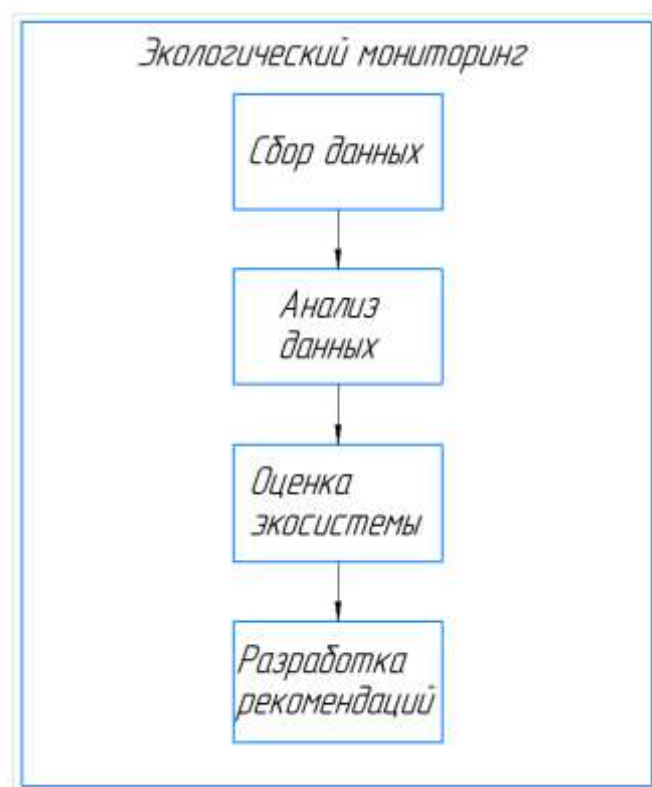


Рисунок 1 – Стадии экологического мониторинга

На второй стадии данные анализируются и обрабатываются. Результаты данные могут быть представлены в виде графиков, таблиц, статистики. Полученные данные обеспечивают возможности моделирования и визуализации данных на географической информационной системе.

Используя данные, полученные при анализе, производится оценка состояния экосистемы. При оценке состояния экосистемы можно сравнить текущие результаты с предыдущими, определить положительные и отрицательные тенденции по количеству вредных веществ, аэрозоли, пыли фракций PM10 и PM2.5. Также результаты сравниваются с допустимыми значениями.

На стадии разработки рекомендаций, для тех параметров, которые имеют положительные тенденции, рекомендации в большинстве случаев остаются теми же, для стабильно-допустимых параметров происходит поиск возможностей по уменьшению, для параметров с отрицательными тенденциями разрабатываются рекомендации по улучшению качества воздуха. Значительное отклонение параметров от нормы свидетельствует о возникновении аварийной ситуации.

Автоматизация системы экологического мониторинга воздуха

Для профилактики аварийных ситуаций экологический мониторинг необходимо осуществлять в реальном времени, своевременно получая оповещения при превышении параметров. Для этого следует применять автоматизированные технологии экологического мониторинга воздуха.

При работе с системой экологического мониторинга нужно, чтобы оператор мог получать данные в реальном времени. При значительном превышении должна срабатывать сигнализация. Отслеживание динамики изменения анализируемых показателей можно осуществлять в реальном времени на пульте оператора и в офисе. Для отправки данных можно использовать как проводное подключение, так и беспроводные сети. При использовании беспроводных сетей можно использовать мобильные пункты.

На рисунке 2 представлена общая схема автоматизированной системы экологического мониторинга.

В этой системе анализ данных производится на сервере анализа данных, таким образом может быть составлена общая картина экологической обстановки на основе нескольких точек измерения. Сервер баз данных хранит в себе значения прошлых измерений. Пользуясь данными на основе прошлых изменений, возможно предугадывать динамику загрязнения, так как загрязнение воздуха может меняться по сезонам.

ЭВМ для работы с данными может находиться на самом предприятии или в офисе для разработки рекомендаций.

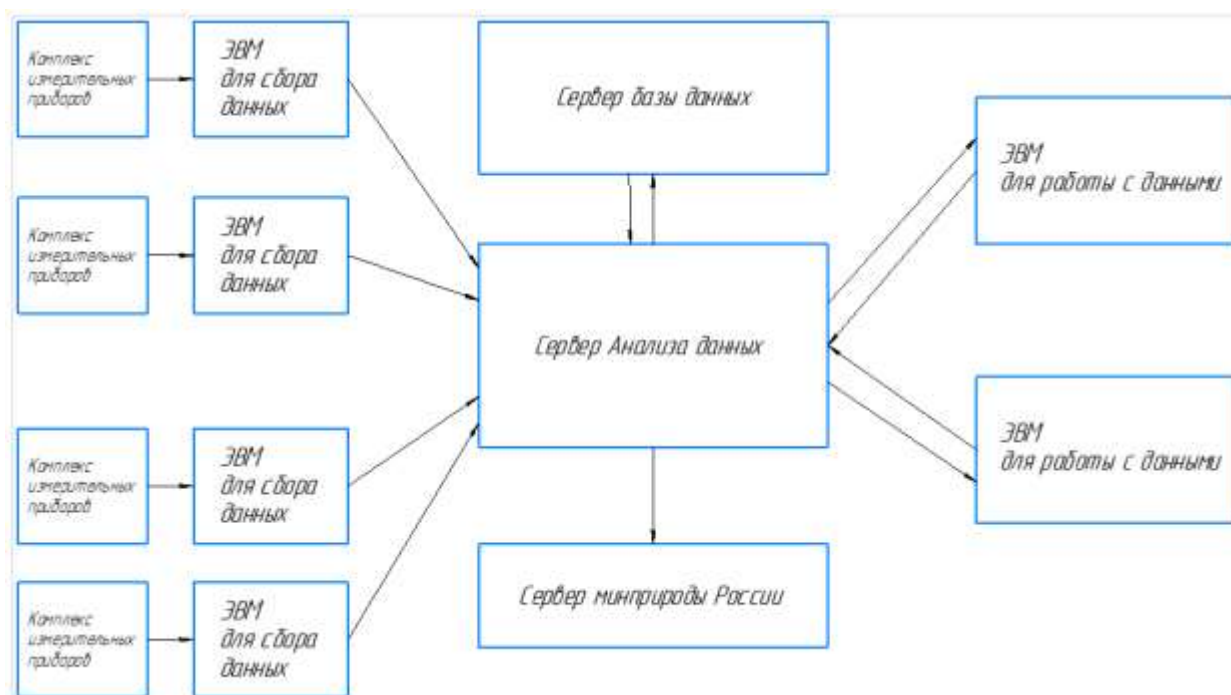


Рисунок 2 – Общая схема автоматизированной системы экологического мониторинга

Экологический пост состоит из комплекса измерительных приборов и ЭВМ для сбора данных. В комплекс измерительных приборов входят датчики, усилители сигнала с датчиков и АЦП для последующей цифровой обработки данных. В этот комплекс включают множество датчиков для направления вет-

ра, температуры, пыли наиболее опасных для человека фракций, вредных веществ. На рисунке 3 показано устройство экологического поста. Измерительные приборы можно дополнять в зависимости от задач. Экологические посты могут быть как стационарными, так и мобильными, связь с сервером у мобильных постов происходит по 4Glte или другому диапазону мобильной сети, у стационарных может быть как проводная связь, так и по мобильной сети.



Рисунок 3 – Устройство измерительного поста автоматизированной системы мониторинга воздуха

За счёт использования множества постов, ситуация может отслеживаться одновременно в нескольких географических позициях, из-за чего можно составлять более точные прогнозы и рекомендации. Также это может помочь быстрее обнаружить признаки возможной чрезвычайной ситуации (ЧС).

Заключение

Рассмотренная автоматизированная система экологического мониторинга предоставляет значительные преимущества в работе. Благодаря автоматизации этого процесса значительно повышается эффективность работы, частота обновления данных и разработка рекомендаций по использованию природных ресур-

сов. Данную систему можно использовать для предотвращения ЧС своевременно, до того, как может произойти существенный урон здоровью человека.

Важно продолжать внедрять современные технологии в эту сферу и поддерживать эффективное сотрудничество между государственными органами, научными учреждениями и бизнесом.

Список литературы

1. Экологический мониторинг : учебное пособие / Е. П. Лысова, О. Н. Парамонова, Н. С. Самарская, Н. В. Юдина. – М. : ИНФРА-М, 2023. – 151 с.

2. Автоматизация экологического мониторинга атмосферного воздуха с помощью решений ЗАО «Радиян» // Журнал «ИСУП». – 2021. – № 4(94). – С. 38-41. –URL: https://isup.ru/upload/pdf-zhurnala/2021/4/038_041_Radian.pdf (дата обращения: 19.03.2025).

3. Ашихмина, Т. Я. Методы экологического мониторинга окружающей среды : учебно-методическое пособие / Т. Я. Ашихмина. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 372 с.

References

1. Environmental monitoring: a textbook / E. P. Lysova, O. N. Ramonova, N. S. Samarskaya, N. V. Yudina. – Moscow : INFRA-M, 2023. – 151 p.

2. Automation of environmental monitoring of atmospheric air using solutions of CJSC Radian // ISUP magazine. – 2021. – № 4(94). – Pp. 38-41. – URL: https://isup.ru/upload/pdf-zhurnala/2021/4/038_041_Radian.pdf (date of reference: 03.19.2025).

3. Ashikhmina, T. Ya. Methods of environmental monitoring of the environment: an educational and methodical manual / T. Ya. Ashikhmina. –Vologda : Infra-Engineering, 2024. –372 p.

**СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ADEM И КОМПАС 3D
COMPARISON OF COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEM ADEM
AND KOMPAS 3D**

Копёнкин К.Н., студент

Евдокимова С.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

kinstantin.kopyonkin@gmail.com

Kopyonkin K.N., student

Evdokimova S.A., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies

named after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В данной статье сравниваются две популярные системы автоматизированного проектирования – Компас-3D и ADEM, их функционал и области применения.

Summary: This article compares two popular computer-aided design systems – Compass-3D and ADEM, their functionality and applications.

Ключевые слова: САПР, Компас-3D, ADEM.

Keywords: CAD, Kompas-3D, ADEM.

На сегодняшний день в России популярными системами автоматизированного проектирования являются ADEM и Компас-3D, но эти программы не идентичны друг другу и имеют различный функционал и наполненность функций. Благодаря этому обе эти программы активно используют на различных производствах как отдельно, так в связке друг с другом [1-3].

Рассмотрим функционал данных программ и сравним их.

Компас-3D – это отечественная САПР, предназначенная для 3D-моделирования и проектирования, которая активно используется в машиностроении и производственных отраслях [4].

Функционал этой программы позволяет работать с 2D и 3D моделями, создавать чертежи, схемы, спецификации, технические условия и прочие документы, но основной упор этой программы на проектирование 3D моделей и расчёт различных механических характеристик [4, 5].

Компас-3D имеет настраиваемый интерфейс, позволяющий пользователю сконцентрироваться на рабочем процессе. Система поддерживает два метода проектирования – «снизу вверх» и «сверху вниз», которые расширяют возможности коллективной работы над новым изделием. В Компас-3D реализовано твердотельное, поверхностное, листовое и объектное моделирование. Твердотельные модели строятся с помощью операций выдавливания, вращения, задания фасок, скруглений и т.д.; поверхностные модели строятся на основе поверхностей; объектное моделирование выполняется путем использования готовых деталей (крепежа, пружин, валов, металлоконструкций и т.д.) [6].

Компас-3D позволяет выполнять расчеты масс, пружин, механических передач, экспресс-анализ прочности, топологическую и геометрическую оптимизацию изделия, анализ теплопроводности и др. [7].

Компас-3D имеет инструменты для интеграции с другими системами поддержки жизненного цикла изделия – системами технологической подготовки производства, управления проектными документами, эксплуатации изделия и т.д. [4].

На данный момент в Компас-3D есть возможность строить технологический маршрут, и программы для управления для станков с ЧПУ с помощью интеграции ADEMCAM, что значительно расширяет функционал Компас-3D, но делает его зависимым от ADEM в создании технологической документации.

Преимущества Компас-3D:

- мощные инструменты для параметрического и прямого моделирования;
- возможность создания ассоциативных чертежей и спецификаций;
- поддержка модулей для различных инженерных анализов (прочностной анализ и др.);
- большая база спецификаций и стандартов.

ADEM – российская система автоматизированного проектирования, предназначенная для машиностроительного конструирования, включает модули

CAD/CAM/CAPP и предоставляет комплексное решение для управления всеми данными и задачами, требуемыми для решения в технологическом процессе [8].

ADEMCADпозволяет проектировать различные изделия – от простых деталей до сложных сборочных узлов. Построение объемных моделей в ADEM-CADможно выполнять различными способами: путем смещения, движения, вращения, по сечениям, сетке, путем слияния и т.д.; добавляя применение инструментов редактирования: скругления, фаски, булевы операции и т.д.

ADEMпозволяет подготовить документацию по требованиям стандартов ЕСКД, ANSI, ISO. В ADEM имеется возможность импорта данных из других CAD-систем и дальнейшую работу с ними [3].

Процесс проектирования маршрута обработки деталей в ADEM включает последовательное создание отдельных технологических операций– обработка заготовок и деталей на станках с ЧПУ, измерительные, контрольные и другие операции [3, 8]. Пользователь в диалоговом режиме указывает необходимые параметры, определяет геометрию обработки, выбирает характеристики инструмента и т.д. Весь маршрут обработки отображается в виде дерева в окне проекта.

Преимущества ADEM:

- объединение функционала CAD и CAM в едином программном продукте;
- поддержка российских стандартов и ЕСКД;
- наличие модуля расчетов напряжений, деформаций, теплового режима и других характеристик изделий;
- гибкие инструменты для автоматизации проектирования;
- эвристическая и табличная параметризация;
- интеграция с существующими системами предприятия – с PDM/PLM-, ERP- и другими системами, обеспечивая удобный обмен данными и управление жизненным циклом продукции;
- возможность создания управляющих программ для станков с ЧПУ.

В таблице 1 приведен результат сравнения функциональных возможностей Компас-3Dи ADEM.

Выбор между Компас-3D и ADEM зависит от конкретных потребностей разработчиков. Если необходима система для общего машиностроительного проектирования с легким началом и обширной документацией, то следует выбрать Компас-3D. Для предприятий, которые нуждаются в полной интеграции

CAD и CAM для производства и обработки, ADEM является отличным средством.

Таблица 1 — Результат сравнения возможностей Компас-3D и ADEM

Возможности	ADEM	Компас 3D
Плоское моделирование	+	+
Черчение	+	+
Объёмное моделирование	+	+
Создание объёмных сборок	+	+
Генерация технологической документации	+	+
Механообработка по 2D-модели	+	+
Механообработка по 3D-модели	+	+
Токарная обработка	+	-
Сверление	+	-
Эрозионная и аддитивная обработка	+	-
Поддержка ЕСКД	+	+
Расчет долговечности	+	-
Анализ течения жидкости и газа	-	+
Оптимизация конструкции	+	+
Расчёт пружин и механических передач	+	+
Экспресс-анализ прочности	-	+
Редактирование сканированного чертежа	+	-
Документооборот	+	+

Таким образом, каждая из систем имеет свои уникальные сильные стороны, и оптимальный выбор зависит от специфики задач, стоящих перед проектировщиком.

На данный момент полноценное проектирование с расчётом характеристик изделия, созданием технологического процесса и технологической документации невозможно в одной из систем. Для полной поддержки проектирования необходимо совместно использовать ресурсы обеих отечественных программ ADEM и Компас-3D.

Компас 3D больше заточен под расчёт различных механических характеристик изделия, что позволяет провести подробное исследование до момента реализации изделия «в железе», ADEM же больше направлен на создание технологической документации, процесса обработки и создания программ для станков с ЧПУ, что делает обе программы неразрывно связанными между собой. ADEM также подойдёт для создания несложных деталей для ускорения проектирования, а при создании сложных сборочных механизмов без Компас-3D не обойтись.

Список литературы

1. Феоктистова, Л.А. Краткий обзор приложений системы КОМПАС -3D / Л.А. Феоктистова, Т.В. Рзаева, А.Р. Фардеев // Научно-технический вестник Поволжья. – 2024. – № 1. – С. 126-128.
2. Копылов, Ю.Р. Основы компьютерных цифровых технологий машиностроения : учебник / Ю.Р. Копылов. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 496 с. – URL: <https://reader.lanbook.com/book/207086#2>.
3. Колошкина, И.Е. Автоматизация проектирования технологической документации : учебник и практикум для вузов / И. Е. Колошкина. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 371 с.
4. КОМПАС-3D. Официальный сайт САПР КОМПАС. – URL: <https://kompas.ru/?ysclid=m9gxbn96rq510206512> (дата обращения: 18.03.2025).
5. Герасимов, А.А. Самоучитель КОМПАС-3D V23 / А.А. Герасимов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2025. – 463 с.
6. Урсулов, А.А. Возможности 3D моделирования изделий различного применения в САПР «КОМПАС-3D» / А.А. Урсулов, М.П. Егоренко // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2023. – Т. 7, № 1. – С. 116-125.
7. Тараховский, А.Ю. Электронные модели изделий в САПР КОМПАС-3D: теоретические аспекты и практические рекомендации / А.Ю. Тараховский // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2025. – № 18. – С. 4-7.
8. CAD – ADEM. – URL: <https://adem.ru/products/cad/> (дата обращения: 18.03.2025).
9. Колошкина, И.Е. Эффективность применения автоматизированной интеллектуальной системы для формирования технологической документации / И.Е. Колошкина, А.В. Капитанов, А.Н. Феофанов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2024. – № 1 (193). – С. 50-57.

References

1. Feoktistova, L.A. A brief overview of the COMPASS-3D system applications / L.A. Feoktistova, T.V. Rzayeva, A.R. Fardeev // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. – 2024. – No. 1. – Pp. 126-128.
2. Kopylov, Yu.R. Fundamentals of computer digital technologies of machine building : textbook / Yu.R. Kopylov. – St. Petersburg : Lan, 2022. – 496 p. – URL: <https://reader.lanbook.com/book/207086#2>.
3. Koloshkina, I.E. Automation of technological documentation design : textbook and workshop for universities / I. E. Koloshkina. – Moscow : Yurait Publishing House, 2024. – 371 p.
4. COMPASS-3D. The official website of CAD COMPASS. – URL: <https://kompas.ru/?ysclid=m9gxbn96rq510206512> (accessed: 03.18.2025).
5. Gerasimov, A.A. Self-help COMPASS-3D V23 / A.A. Gerasimov. – St. Petersburg : BHV-Petersburg, 2025. – 463 p.
6. Ursulov, A.A. The possibilities of 3D modeling of products of various applications in the COMPASS-3D CAD / A.A. Ursulov, M.P. Egorenko // Interexpo Geo-Siberia. – 2023. – Vol. 7, No. 1. – Pp. 116-125.
7. Tarakhovsky, A.Y. Electronic models of products in CAD COMPASS-3D: theoretical aspects and practical recommendations / A.Y. Tarakhovsky // Computer-aided design in mechanical engineering. – 2025. – № 18. – Pp. 4-7.
8. CAD – ADEM. – URL: <https://adem.ru/products/cad/> (date of reference: 03.18.2025).
9. Koloshkina, I.E. The effectiveness of using an automated intellectual system for the formation of technological documentation / I.E. Koloshkina, A.V. Kapitanov, A.N. Feofanov // Information technologies in design and production. – 2024. – № 1 (193). – Pp. 50-57.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ
COMPARISON OF FREE MOVEMENT OF ROBOTIC LEG ON EARTH
AND MARS**

Копёнкин К. Н., студент

Карелин А. Н., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет

имени Г. Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

kinstantin.kopyonkin@gmail.com

Kopyonkin K. N., Student

Karelin A. N., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies

named After G. F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В данной статье будет построена модель в Simulink, имитирующая свободное опускание ноги робота на двух планетах: Земле и Марсе. Данная модель необходима для дальнейших исследований движения робота и моделирования движения различных звеньев робота.

Summary: In this article, a model will be built in Simulink simulating the free lowering of a robot's leg on two planets: Earth and Mars. This model is necessary for further research into the robot's movement and modeling the movement of various robot links.

Ключевые слова: Мехатроника и робототехника, робот, движение робота, моделирование движения робота, нога робота.

Keywords: Mechatronics and robotics, robot, robot motion, robot motion simulation, robot leg.

Введение

На данный момент происходит стремительное развитие мехатроники и робототехники, роботы применяются как в быту, так и для исследовательских работ, и, как всем известно, на неизведанные планеты для исследований запус-

кают мехатронные системы, которые работают на электричестве, запасая энергию с помощью солнечных батарей [1-3].

Исследуя материал статьи «Сравнительный анализ видов передвижения сервисных роботов» Камалова Н. С., пришла к выводу, что наиболее подходящий и проходимый способ движения робота по пересечённой местности это ножной. Я хочу рассмотреть, как происходит процесс опускания ноги под собственным весом, и провести сравнительный анализ этого движения на нескольких планетах, так как сила тяжести на разных космических объектах различается, то и интенсивность движения будет отличаться, однако движение будет происходить по одному закону математического маятника.

Что нам даст сравнение опускания ноги на поверхность? Возможность дальнейших исследований и моделирования полного движения ноги робота на основе существующей модели, я рассмотрю именно опускание ноги, таким образом, мы сможем понять, возможно ли на какой-либо из планет отключение электроприводов для этого действия, после поднятия ноги на нужную высоту, что способствует снижению энергопотребления во время передвижения робота.

Описание модели ноги

Модель будем строить в программе Matlab, используя модуль Simulink.

Далее на рисунке 1 приведена схема модели ноги робота, я посчитал, что свободное опускание ноги можно описать двухзвенным маятником, нам нужно лишь выбрать массу, длину звеньев и рассчитать моменты инерции.

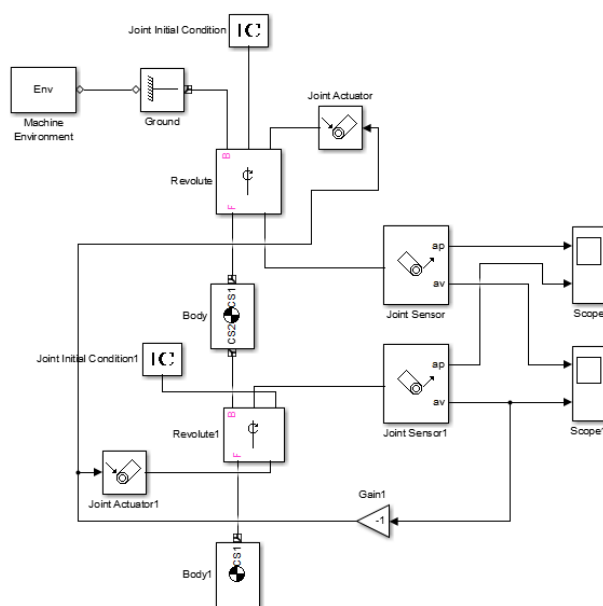


Рисунок 1 — Схема модели ноги робота в Simulink

Блок Machine Environment отвечает за визуализацию движения, так же в этом блоке мы выставляем параметр ускорения свободного падения (На Земле $9,81 \text{ м/с}^2$, на Марсе $3,73 \text{ м/с}^2$).

Блок Ground неподвижная начальная точка подвеса нашей модели, чтобы разместить обе модели (на Земле и на Марсе), для Земли эта точка будет $[0 \ 0 \ 0]$, а для Марса $[2 \ 0 \ 0]$.

Блок Joint Initial Condition и Joint Initial Condition1 задаёт начальный угол движения звена, Возьмём 45° для первого и -45° для второго.

Блоки Revolute и Revolute1 отвечают за вращательное движение между Ground и первым звеном Body; и между звеном Body и Body1

В блоках Body и Body1 мы задаём параметры тела, такие как масса, длина, центры масс и моменты инерций (рисунки 2, 3).

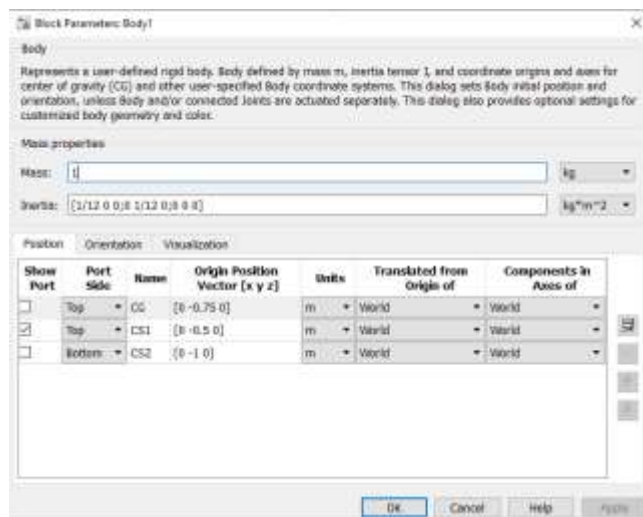


Рисунок 2 – Параметры блока Body (первое тело)

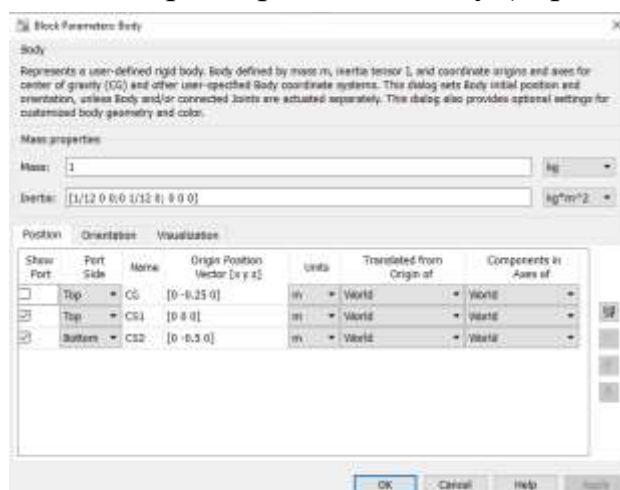


Рисунок 3 – Параметры блока Body1 (второе тело)

С помощью блоков Joint Sensor и Joint Sensor1 мы можем считывать параметры нашей модели, в данном случае угол отклонения (град) и угловую ско-

рость (рад/с). Считанные параметры мы выводим на осциллографы Score и Score1.

Для того чтобы получить результаты на Земле и Марсе сразу при одном запуске, дублируем модель, отличие будет только в расположении звеньев, они будут смещены на два метра правее, и ускорении свободного падения.

Результаты эксперимента

После запуска модели мы можем увидеть 2D визуализацию движения рисунк 4).

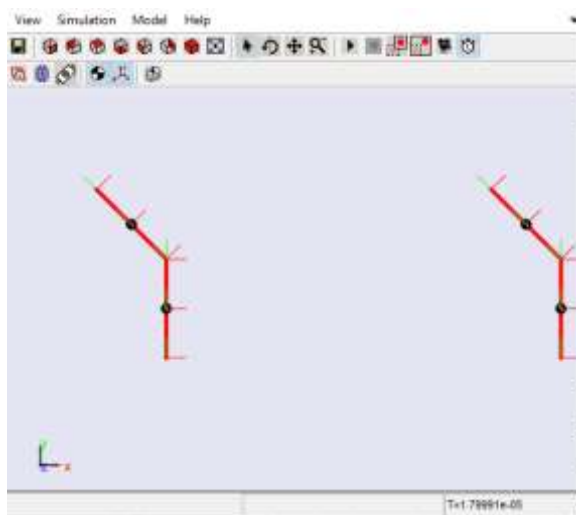


Рисунок 4 – 2D визуализация движения ноги робота на Земле (слева) и Марсе (справа)

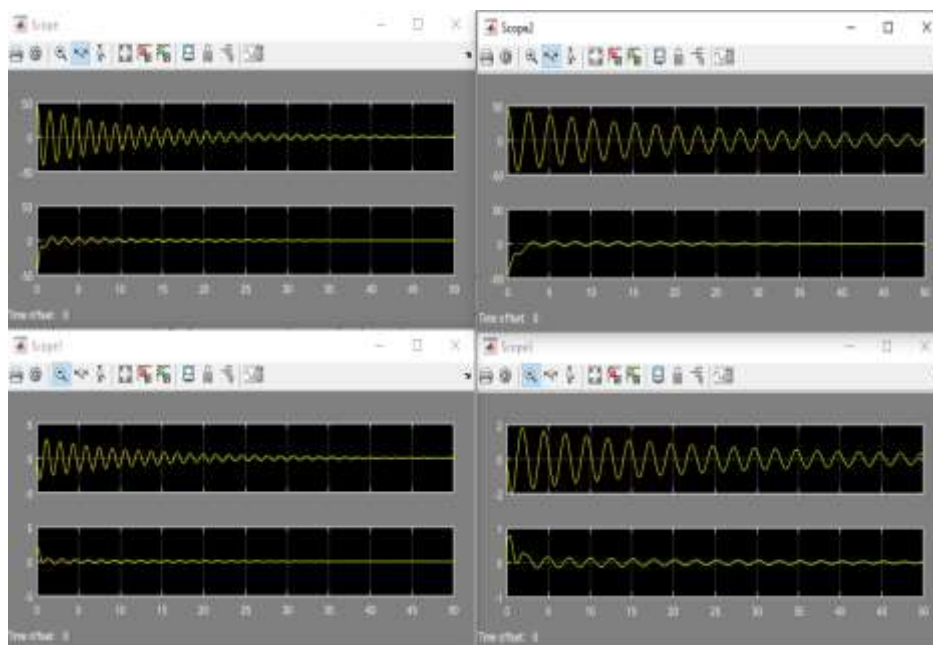


Рисунок 5 – Графики движения ноги робота на Земле (слева) и Марсе (справа)

В блоках Score и Score2 мы видим отклонения первого и второго звена в градусах. В блоках Score1 и Score3 мы наблюдаем изменение угловой скорости первого и второго звена ноги робота соответственно.

Заключение

В итоге мы можем сделать вывод, что движение опускания ноги на Марсе значительно медленнее, чем на Земле, также за счёт меньшего ускорения свободного падения мы наблюдаем то, что колебания на Марсе затухают значительно медленнее, чем на Земле, а также сама скорость движения звеньев меньше. В связи с этим можно сделать вывод, что на Марсе можно опускать ногу робота с полным отключением электропривода, и это не приведёт к повышенному износу механизма.

Хоть это и очевидно, но наша модель позволяет смоделировать это движение, представить параметры этого движения графически, и данная модель может послужить дальнейшей отправной точкой в моделировании полного движения ноги.

Список литературы

1. Дьяконов, В.П. Simulink. Самоучитель / В.П. Дьяконов. – М.: ДМК-Пресс, 2012.–784 с.
2. Овинников, А.А. Основы работы в средах Matlab и Simulink / А.А. Овинников. – М. : КУРС, 2022.– 136 с.
3. Пащенко, Ф.Ф. Теория автоматического управления (с использованием Matlab - Simulink). Практикум / Ф.Ф.Пащенко, Ю.И.Кудинов. – М. : Лань, 2024.- 280 с.

References

1. Dyakonov, V.P. Simulink. Tutorial / V.P. Dyakonov. Moscow: DMK–Press, 2012. 784 p.
2. Ovinnikov, A.A. Fundamentals of work in Matlab and Simulink environments / A.A. Ovinnikov. – М. : COURSE, 2022. – 136 p.
3. Pashchenko, F.F. Theory of automatic control (using Matlab - Simulink). Practicum / F.F. Pashchenko, Yu.I. Kudinov. – М. : Lan, 2024. - 280 p.

**ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ
ВЕНТИЛЯЦИИ**

**FEATURES OF THE TECHNICAL EQUIPMENT OF THE SYSTEM
AUTOMATIC CONTROL OF THE SUPPLY AND EXHAUST SYSTEM
VENTILATION**

Кудинков А.В., магистрант

Лапшина М.Л., д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

marina_lapshina@mail.ru

Kudinkov A.V., Master's student

Lapshina M.L., Doctor of Technical Sciences, Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В работе проанализированы особенности разработки системы автоматического управления приточно-вытяжной вентиляции, отличительной особенностью которой, является использование свободно программируемого контроллера пятого поколения, также обосновывается техническое оснащение предложенной системы, рассматриваются условия устойчивого функционирования системы в условиях негативных факторов.

Summary: The paper analyzes the features of the development of an automatic control system for supply and exhaust ventilation, a distinctive feature of which is the use of a freely programmable fifth-generation controller, also substantiates the technical equipment of the proposed system, and considers the conditions for the stable functioning of the system in the face of negative factors.

Ключевые слова: кондиционирование, параметры, уставка, двигатель, управление.

Keywords: air conditioning, parameters, setpoint, engine, control.

Автоматизированные процессы, в настоящее время приобретают главенствующую роль в модернизации технических и проектно-конструкторских процессах реализации начальных задач, стоящих перед разработчиками. Одним из главных факторов, влияющих на скорость отыскания теоретического решения и практической реализации автоматизированных процедур, является актуальность используемых технических средств автоматизации.

Нужно отметить, что повсеместное эксплуатация климатического оборудования, как в технических помещениях, так и в жилых, обусловлено тем, что производственный процессы на предприятиях машиностроения, химической, текстильной и горнодобывающих промышленности, а также существенного числа промышленных предприятий, обеспечивающих высокотехнологичное производства, должны обеспечивать требуемые показатели состояния воздуха, а также – требования охраны труда.

Существенная часть технологических узлов работает в автоматическом режиме. В случае аварии, может быть поврежден не только непосредственно двигатель, но и вся производственная деятельность. Длительные простои технологического оборудования, в рассматриваемом нами случае – остановка всей системы вентиляции и кондиционирования воздуха, приведут к потерям гораздо большим, нежели потраченные средства на ремонт двигателя. Следовательно, правильная защита двигателя является задачей многогранной, приводящей к выбору между технической составляющей и экономической оправданностью [1].

Электродвигатель – это электромеханический реформатор энергии, на вход, которого, поступает электроэнергия из сети, а на выходе, на вал передается механическая.

Данный процесс, безусловно, приводит к возникновению ситуации, способствующей перегреванию двигателя. Учтем факт того, что различают потери в меди на статоре и роторе, потери в железе на статоре и потери на трение. Отметим, что если потери в меди напрямую определяются прямо пропорционально квадрату нагрузки двигателя, то потери в железе и на трение не зависят от нагрузки [2].

Приоритетная роль устройств защиты двигателя состоит в том, чтобы не допустить перегрев, как неподвижной части двигателя, так и вращающего элемента. Чем объемней неподвижная часть двигателя и чем больше количество его оборотов, тем выше начальный пусковой ток, и тем более хрупкий будет вращающий элемент двигателя.

Сразу после начала работы двигателя и снижения переходного процесса, в нем образуется стартовый пусковой ток, который определяется в интервале от 4-х до 8-кратного объема тока, при нормальном режиме функционирования и не зависит от времени нагрузки; другими словами, работает ли двигатель на холстом ходу, или под нагрузкой – различий нет. Однако, временной интервал ускорения напрямую определяется техническими параметрами двигателя.

Сформулируем причины тепловой перегруженности:

- усиленный крутящий момент при работе под нагрузкой в продолжительном времени;
- большое количество включений;
- длительном повторно-кратковременном режиме;
- длительных процессах разгона и торможения;
- ограничение работы подвижной части двигателя при включении или во время работы.

Помимо названных причин перегрузки, еще существуют такие как ошибка подключения сети или коммутация, а также качественные показатели сети, к которым отнесем:

- различия частоты или напряжения в сети от зафиксированных значений;
- несимметричность сети и потеря фазы.

Помимо этого, на работу двигателя негативно воздействует неполное охлаждение, которое определяется такими составляющими как:

- большая температура внешней среды;
- разряженность атмосферы на территории установки, относительно уровня моря;
- засор вентиляционных путей.

Определяющая функция защитного механизма гарантирует своевременность включения, т.е. она работает на опережение по отношению к предельным параметрам нагрева двигателя. При этом, нужно учитывать, что защитный механизм не должен активироваться, если двигатель:

- работает весьма продолжительный временной период;

- во время установленного интервала ускорения и торможения по двигателю проходит начальный пусковой ток;

- работает на предельном режиме в течение 2 минут в разогретом состоянии с 1,5-кратным номинальным током.

Система защиты двигателя подразумевает использование термобиметаллического элемента, освобождающий механизм блока, при достижении предельных температур. Одновременно в реле перегрузки начинает функционировать дополнительный контакт, размыкающий цепь питания электромагнитной катушки запуска двигателя, что способствует останову двигателя и активации системы сигнализации о неисправности.

Асимметрия напряжения в питающей сети, особенно при отсутствии тока в одной из фаз, вызывает значительное увеличение нагрузки на оставшиеся проводники, что ведет к увеличению тепловых потерь в двигателе в 1,5-2 раза относительно нормального режима эксплуатации. Реле перегрузки, не оснащенные специальными датчиками для выявления обрыва фазы, характеризуются замедленной реакцией [2]. В соответствии с существующими требованиями, допустимый показатель тока отключения в таком случае может превышать установленный на 10%, увеличиваясь до 1,32-кратного показателя относительно заданных. Долгий период работы, при таких условиях, убыстряет износ оборудования.

Для обеспечения стабильной работы по защите двигателя в условиях неравномерной нагрузки и однофазного режима, реле перегрузки и расцепляющие устройства объединяются с системами дифференциальной защиты и устройствами мгновенного отключения, что предотвращает аварийные ситуации на начальных этапах их развития.

Во время зимы, температура воздуха в системе вентиляции поднимается благодаря теплоносителю, передвигающемуся по теплообменнику, смонтированному из металлических труб с алюминиевыми ребрами. Перемерзание теплоносителя способствует к повреждению труб, последующей утечке теплоносителя, ремонтным работам или замены теплообменного оборудования [3].

Для предотвращения замерзания теплоносителя необходимо предпринять следующие меры:

- Обеспечение минимально допустимого расхода теплоносителя.
- Установка системы мониторинга температурного режима подаваемого воздуха и обратного теплоносителя.

– В аварийной ситуации система защиты срабатывает, происходит остановка вентилятора, воздушный клапан перекрывается и открывается регулирующий ventиль.

Процесс фильтрации воздушных масс осуществляется посредством установленного на входе системы фильтра [4]. Этот компонент предотвращает проникновение мелкодисперсных частиц и пыли внутрь системы. По мере эксплуатации фильтр подвержен постепенному загрязнению, что существенно усиливает нагрузку на приводные механизмы. Уровень работы фильтра контролируется датчиком изменения давления, устанавливающий расхождение давлений до и после фильтрующего момента. По достижению предельных значений загрязнения датчик предоставляет информацию на панель управления посредством замыкания соответствующего контакта.

Температура входящего воздушного потока ($T_{пр.в.}$) поддерживается на уровне 22°C в процессе работы системы. Датчик температуры входящего воздушного потока транслирует информацию на вход пропорционально-интегральному регулятору контроллера, который формирует команды управления для изменения положения регулирующего клапана. В зимний сезон данный механизм применяется для нагрева воздушных потоков, тогда как летом он используется для их охлаждения. Система допускает управление как в ручном, так и в автоматическом режимах. Ручное управление реализуется посредством кнопочных элементов и переключателей, расположенных на панели управления внутри шкафа. Автоматический запуск насосных агрегатов и электродвигательных систем контролируется контроллером при соблюдении всех необходимых условий функционирования системы.

В заключении хочется отметить, что рассматриваемая техническая составляющая автоматизированной системы управления удовлетворяет сформулированным начальным требованиям и может быть внедрена непосредственно в практическую деятельность промышленных предприятий.

Список литературы

1. Кокорин, О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха / О.Я. Кокорин. – М.: Еръ, 2023. – 272 с.
2. Королев, Г.В. Электронные устройства автоматики. Издание второе, переработанное и дополненное / Г.В. Королев. – М. : Высшая школа, 1991. – 256 с.

3. Богословский, В.Н. Отопление и вентиляция / В.Н. Богословский. – М. : Стройиздат, 2023. – 273 с.

4. Молчанов, Б.С. Проектирование промышленной вентиляции / Б.С. Молчанов. – Санкт Петербург: Стройиздат, 2020. – 228 с.

References

1. Kokorin, O.Ya. Modern air conditioning systems / O.Ya. Kokorin. – M. : Er, 2023. – 272 p.

2. Korolev, G.V. Electronic automation devices. Second edition, revised and expanded / G.V. Korolev. – Moscow : Higher School, 1991. – 256 p .

3. Bogoslovsky, V.N. Heating and ventilation / V.N. Bogoslovsky. – Moscow : Stroyizdat, 2023. – 273 p.

4. Molchanov, B.S. Design of industrial ventilation / B.S. Molchanov. – St. Petersburg: Stroyizdat, 2020. – 228 p.

**КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ОПЕРАЦИЙ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ПОГРУЗЧИКОВ
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ**
**INTEGRATED AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS
OF ROBOTIC LOADERS AT ENTERPRISES**

Кузнецов К.Д., магистрант

Мещерякова А.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет

имени Г.Ф. Морозова»,

г. Воронеж, Россия

Kuznetsov K.D., Master's student

Meshcheryakova A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE « Voronezh State University of Forestry and Technologies named after

G.F. Morozov»,

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматриваются современные методы автоматизации роботов-погрузчиков на промышленно-складских комплексах. Дано описание основных контуров управления, навигации, оптимизации маршрута от начального пункта до конечного, а также контроля погрузки и разгрузки. Основанное внимание уделено интеллектуальной системе управления, которая использует машинное обучение для улучшения эффективности работы и снижает эксплуатационные затраты.

Summary: The article discusses modern methods of automation of robotic loaders in industrial and warehouse complexes. The basic control loops, navigation, route optimization from the initial point to the final destination, and loading and unloading control are described. Particular attention is paid to the intelligent control system, which uses machine learning to improve operational efficiency and reduce operating costs.

Ключевые слова: автоматизация, роботы-погрузчики, промышленные предприятия, системы навигации, интеллектуальные системы, машинное обу-

чение, логистика, оптимизация маршрутов, повышение эффективности, безопасность.

Keywords: automation, robotic forklifts, industrial plants, navigation systems, intelligent systems, machine learning, logistics, route optimization, efficiency improvement, safety

Автоматизация роботов-погрузчиков на промышленно-складских помещениях является главным аспектом повышения производительности труда, а также эффективностью складских и логистических процессов, что ведет к снижению экономических затрат [1]. Основные задачи, стоящие перед роботами-погрузчиками – транспортировка грузов, загрузка и разгрузка, что влияет на скорость и точность выполнения данных операций. Развитие технологий автоматизации позволяет не только повысить скорость и точность перемещения грузов и снизить затраты, но и минимизировать риски повреждения товара или деталей, а так же увеличить безопасность охраны труда на предприятии.

Современные системы автоматизации роботов-погрузчиков имеют следующие контуры управления:

- автономная навигация;
- управлением направления движения;
- контроль загрузки и разгрузки грузов;
- контроль массы груза;
- анализ состояния оборудования.

Ранее эти операции выполнялись вручную или с использованием минимальных контуров автоматизации, однако в нынешних условиях увеличения требований к скорости и точности работы, такие система не удовлетворяют современным потребностям. Необходимы более сложные и эффективные управления, способные анализировать рабочую область в режиме реального времени и учитывать изменения требований при эксплуатации.

Основной интерес представляет система интеллектуального управления, основанная на машинном обучении, которая может анализировать данные о передвижении робота-погрузчика и его загрузке, а также предупредить о возможной неисправности или задержке [2]. При всем этом автоматизация достигается за счет автоматической настройки параметров скорости, и построения маршрута в реальном времени с учетом изменяемых условий склада. Внедрение таких систем позволяет снизить энергетические затраты и затраты на топливо,

уменьшить износ оборудования и повысить общую пропускную способность логистических процессов.

В складских помещениях зачастую представлены автоматизированные вилочные погрузчики и роботизированные платформы (рисунок 1 и 2). Они спокойно могут работать в различных типах складов и производственных зон, устойчивы к изменяющимся условиям. Основные плюсы таких систем является способность автономной навигации с использованием различных сенсоров (например, LiDar). При работе роботы используют камеры, расположенные в помещении по периметру и камеры, установленные непосредственно на роботах, что позволяет безопасно перемещаться в среде с большим количеством препятствий и постоянно меняющейся обстановке.



Рисунок 1 – Автоматизированный вилочный погрузчик



Рисунок 2 – Автоматизированная роботизированная платформа

Автоматизированные роботы погрузчики имеют сложные алгоритмы управления, которые позволяют им эффективно распределять задачи между собой, снижать энергопотребления и уменьшать время простоя [3]. Управление такими системами осуществляется через главный сервер, который оснащён системами WMS (Warehouse Management System) и ERP (Enterprise Resource Planning), что обеспечивает правильное синхронное управление логистическими процессами. Одно из самых больших плюсов современных роботов погрузчиков является способность работать совместно с людьми в одном помещении, благодаря системе обнаружения препятствий и системе изменения траектории движения или полной остановки.

Эффективная работа погрузчика требует точного контроля за основными параметрами: заряд батареи, нагрузка на каждую ось (и вилы), точность следования маршрута, износ компонентов.

Автоматические системы контроля износа позволяют выявить возможные неисправности и не дают случиться аварийной ситуации, что делает такие решения экономически выгодными, а также безопасными для эксплуатации в промышленных условиях.

Контур навигации нужен для точного и безопасного передвижения робота по складскому помещению. Основными датчиками для этого контура являются LiDAR (li), а также, камеры, которые установлены, как и на самом роботе, так и в помещении, картинка с которых обрабатывается основным сервером при помощи машинного зрения и отправляет сигнал в контроллер в самом роботе. В отличие от камер сигнал с LiDAR поступает на основной контроллер, который анализирует данные с него и корректирует его действия. Основной задачей этого контура является обеспечение безопасного и точного перемещения при изменении условий в рабочей зоне.

Контур управления отвечает за анализ окружающей среды при помощи LiDAR и обнаруживает препятствия в реальном времени. Датчик сканирует пространство вокруг робота создавая 3D-карту окружения. Полученные данные передаются на контроллер, который сравнивает текущую карту с заранее заданными маршрутами, корректирует траекторию движения и предотвращает столкновения.

Контур регулирования скорости отвечает за синхронное управление движением робота-погрузчика в зависимости от загруженности склада, наличия препятствий. На основе показаний сенсоров и данных системы управления складом (WMS) сервер управляет скоростью и траекторией движения, обеспечивая наилучшие маршруты перемещения, минимизацию энергозатрат.

Контур нагрузки предназначен для отслеживания веса и обеспечивает безопасного выполнения операций с грузом, Основные данные приходят с датчиков веса или по-другому их называют тензодатчики (t_1 , t_2 , t_3 , t_4 на рисунке 3), а так же, используется машинное зрение, которое анализирует положение, приблизительную массу груза. Информация обрабатывается центральным сервером и далее передается на контроллер, который регулирует скорость подъема, угол наклона, скорость подъема. Это позволяет предотвратить перегрузки и возможные повреждения как груза, так и рабочего персонала.

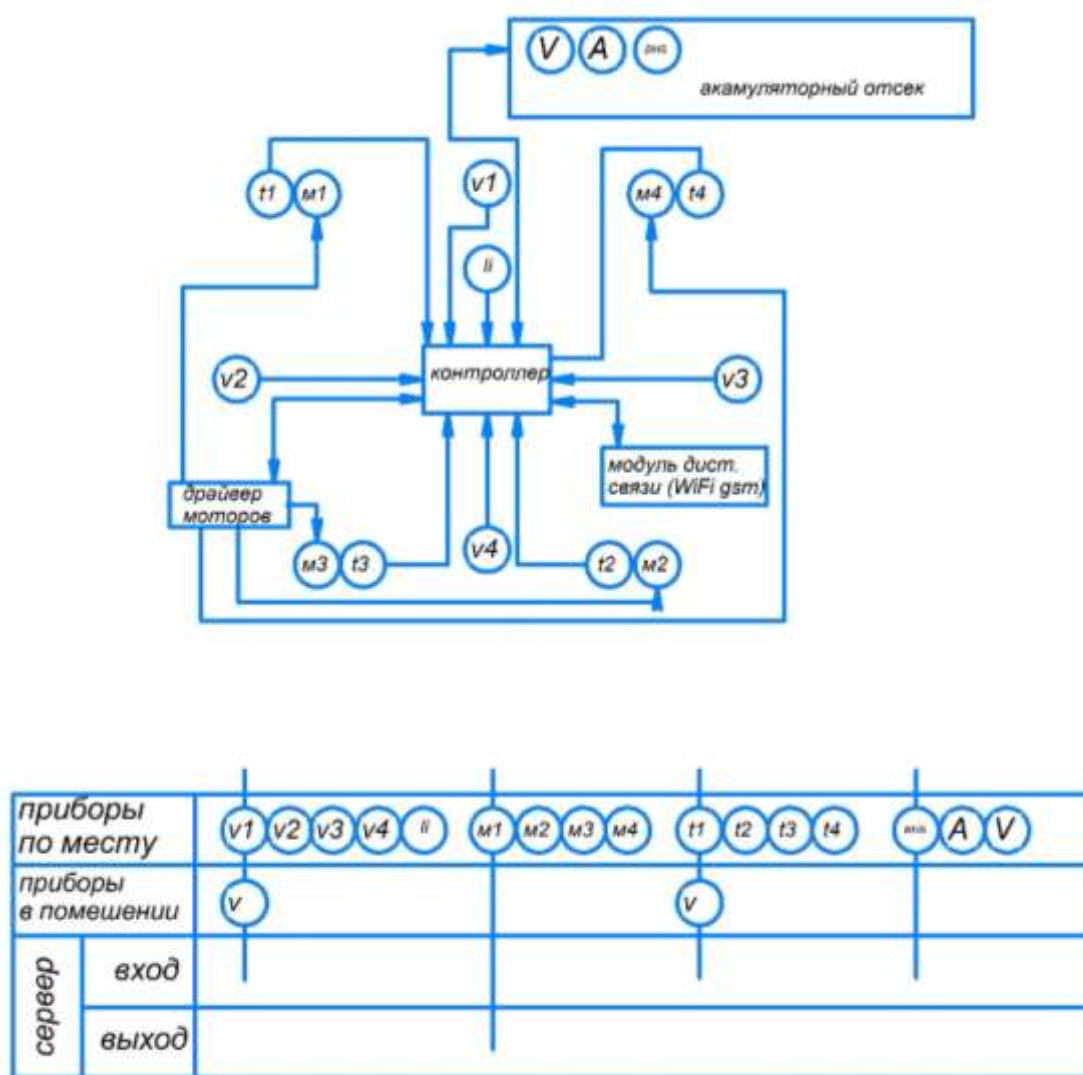


Рисунок 3 – Автоматизированная схема контроля основных параметров работы робота погрузчика

Контур мониторинга технического состояния робота необходим для выявления неисправности и не допускать аварийных ситуаций. Основными датчиками в этом контуре является датчики температуры в разных узлах робота, BMS (Battery Management System) которая обеспечивает безопасность работы батареи и предотвращает её выход из строя в результате перезарядки, переразрядки, короткого замыкания или перегрева, а также тензодатчики, которые отслеживают механическую нагрузку. Все эти датчики передают данные в контроллер, который сравнивает их с макс допустимыми и уже отправляет отчет на главный сервер, а также позволяет анализировать данные для своевременного обслуживания узлов системы. Это позволяет снизить временные и экономические затраты на ремонт и повышает надежность всех системы.

На основе физической модели и данных машинного обучения было разработано несколько сценариев оптимизации процесса доставки груза. Эффек-

тивность внедрения интеллектуальной системы управления роботом погрузчиком приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Эффективность внедрения интеллектуальной системы управления роботом-погрузчиком

Часы работы	Начальный КПД	Оптимизированный КПД	Начальная стоимость (ручной труд)	Оптимизированная стоимость (при использовании робота-погрузчика)
1	70	90	350	100
2	65	90	700	200
3	60	90	1050	300
4	50	90	1400	400
5	50	90	1750	500
6	50	90	2100	600
7	50	90	2450	700

Данные таблицы 1 показывают, что после внедрения автоматической системы управления роботом погрузчиком наблюдается повышение КПД, снижение расхода топлива, а также сокращение человеческой ошибки. В среднем КПД повысился на 15%, а экономические расходы сократились в среднем на 40%.

Таким образом, представлены использование интеллектуальных систем управления, основанных на машинном обучении, для анализа данных о передвижении и загрузке позволяет не только повысить точность и скорость выполнения операций, но и минимизировать риски повреждения грузов и травматизма на предприятии.

Список литературы

1. Мещерякова, А.А. Автоматизированные роботы для складских работ / А.А. Мещерякова, К.Д. Кузнецов// Современные вопросы автоматизации и систем управления в технических, организационных и экономических системах : материалы Национальной научно-практической конференции студентов и молодых ученых. – Воронеж, 2023. –С. 129-133.

2. Мещерякова, А.А. История развития робототехники KUKA / А.А. Мещерякова, А.С. Турбин// Автоматизация и управление в технических, организационных и экономических системах : материалы Национальной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Воронеж, 21 марта 2022 г. – Воронеж, 2022. – С.100-104.

3. Кузнецов, К.Д. Перспективы развития робототехнических систем / К.Д. Кузнецов, А.А. Мещерякова, А.А. Грибанов // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2024. – № 13. – С 39-42.

References

1. Meshcheryakova, A.A. Automated robots for warehouse operations / A.A.Meshcheryakova, K.D. Kuznetsov // Modern issues of automation and control systems in technical, organizational and economic systems. Proceedings of the National Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists. – Voronezh, 2023. – Pp. 129-133.

2. Meshcheryakova, A.A. History of the development of KUKA robotics / A.A. Meshcheryakova, A.S. Turbin // Automation and control in technical, organizational and economic systems: Proceedings of the National Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists, Voronezh, March 21, 2022 / ed. A. A. Griбанov; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, FSBEI HE "VSTU". – Voronezh, 2022. - 100-104 p.

3. Kuznetsov, K.D. Prospects for the Development of Robotic Systems / K.D. Kuznetsov, A.A. Meshcheryakova, A.A. Griбанov // Mechatronics, Automation and Robotics. – 2024. - № 13. – P. 39-42.

**ЭЛЕКТРОЛИЗНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ
(NAOCL): ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ, УСТРОЙСТВО, ПРИНЦИП РАБОТЫ
ELECTROLYSIS PLANTS FOR SODIUM HYPOCHLORITE (NAOCL)
TECHNOLOGY OVERVIEW, DEVICE, OPERATING PRINCIPLE**

**Курипта Г.Р., магистрант
Лепешкин В.И., ведущий специалист
АО Концерн «Созвездие»
г. Воронеж, Россия
Kuripta G.R., Master's student
Lepeshkin V.I., leading specialist
JSC Concern «Sozvezdie»
Voronezh, Russian Federation**

Аннотация: Статья посвящается представлению современных электролизных установок для производства гипохлорита натрия – являющегося одним из главных средств, применяемый в водоочистке, сельском хозяйстве, медицине и промышленности. В статье рассматриваются основные технологии электролиза, их преимущества, а также ограничения. В статье подробно описывается принцип работы электролизера, приводятся уравнения реакций и факторы, которые оказывают влияние на протекание процесса, такие как сила тока, температура и концентрация соли. Не менее важными являются примеры использования таких установок, они будут рассмотрены в статье.

Annotation: The article is devoted to the presentation of modern electrolysis units for the production of sodium hypochlorite, which is one of the main means used in water purification, agriculture, medicine and industry. The article discusses the main technologies of electrolysis, their advantages, and limitations. The article describes in detail the principle of operation of the electrolyzer, provides reaction equations and factors that affect the process, such as current strength, temperature and salt concentration. No less important are examples of the use of such units, they will be discussed in the article.

Ключевые слова: электролизные установки, технологии электролиза, гипохлорит натрия, электрохимические реакции.

Key words: electrolysis plants, electrolysis technologies, sodium hypochlorite, electrochemical reactions

Последствия пандемии COVID-19 побудили тенденцию, когда дезинфекции, санитария и экологическая безопасность выходят на первый план. Гипохлорит натрия, остающийся одним из ключевых химических соединений, известен свойствами, широко применяющиеся в очистке воды, сельском хозяйстве и медицине. Но также имеется проблема с его традиционным получением, связанное с рисками хранения и транспортировки опасного газа – хлора.

Искоренить данную проблему помогли электролизные установки, способные производить гипохлорит натрия на месте, что снижает затраты и вероятность происшествий.

Сложные инженерные комплексы, которые из себя представляют электролизные установки, нужны для выполнения электролиза. Сам процесс основывается на использовании электрического тока для получения химических реакций в растворах или же расплавах. Основными составными системы являются электроды и электролит. Ниже рассмотрим их функции более подробно [1, 2].

Электроды являются проводниками, что позволяют электрическому току протекать через электролит. Зачастую в системах есть два основных электрода: анод и катод. Окисление включает потерю электронов и происходит на аноде, а восстановление на катоде, где приобретаются электроны. Данные реакции способствуют образованию новых веществ или выделению газов.

Вследствие протекания электрического тока, запускаются химические реакции на электролите, что вызывает реакции на поверхности электродов, изменяя состав раствора. Данный процесс зачастую используется в отраслях очистки воды, химического производства и очистки металлов.

Электролизные установки зачастую состоят из электролизера – контейнер или камера, в котором происходит процесс электролиза. Визуальное изображение электролизера представлено на рисунке 1.

Работа электролизной установки основывается на подаче постоянного электрического тока на электролит, благодаря чему происходят химические реакции, где на аноде происходит окисление, а на катоде восстановление.

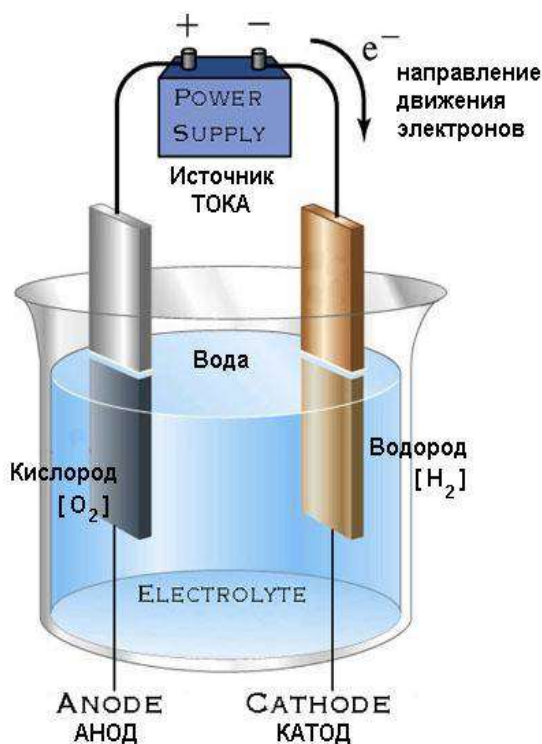


Рисунок 1 – Электролизер

Производные электролиза, к которым относятся газообразные вещества или жидкие продукты, следом собираются в ёмкостях и выводятся через специальные каналы, а охлаждающая система отводит тепло, которое выделяется в процессе.

Предлагаю подробнее рассмотреть электролизную установку, которая используется для приготовления гипохлорита натрия [2,3].

На данный момент времени всё чаще и чаще используется гипохлорит натрия для обеззараживания вод.

Гипохлорит натрия имеет сильные дезинфицирующие свойства, уничтожающие огромный спектр бактерий, вирусов и микроорганизмов.

Основной целью использования электролизных систем для производства гипохлорита натрия является достижение эффективной и экономически выгодной дезинфекции сточных вод.

Производство гипохлорита натрия на месте устраняет риски, связанные с обработкой и транспортировкой опасных химических веществ, таких как жидкий хлор или концентрированные растворы гипохлорита натрия, которые могут представлять значительную опасность как для окружающей среды, так и для персонала.

Процесс производства гипохлорита натрия (ГПХН) включает электролиз раствора хлорида натрия (NaCl), обычно известного как поваренная соль. В за-

зависимости от того, как разделены анодное и катодное отделения электролизера, существует два основных метода производства: один с мембранным разделением и один без него. Оба метода проиллюстрированы на рисунках 2 и 3. Эти подходы влияют на технологический процесс и воздействуют на характеристики самой процедуры электролиза.

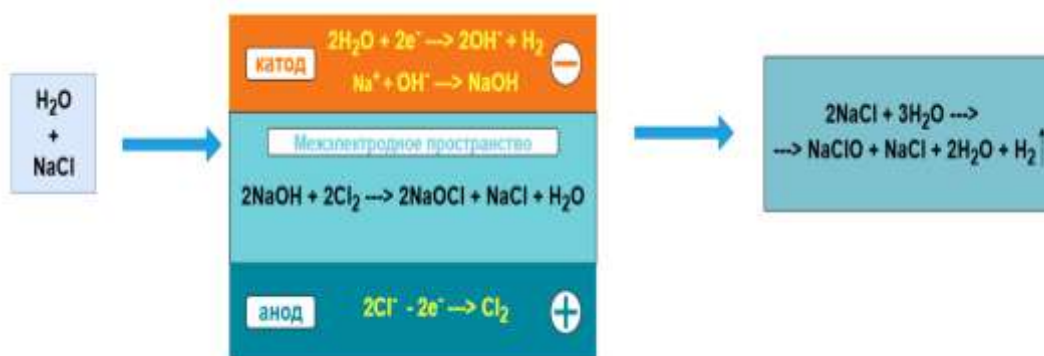


Рисунок 2 – Блок-схема процесса получения ГПХН электролизом в ячейке без мембраны

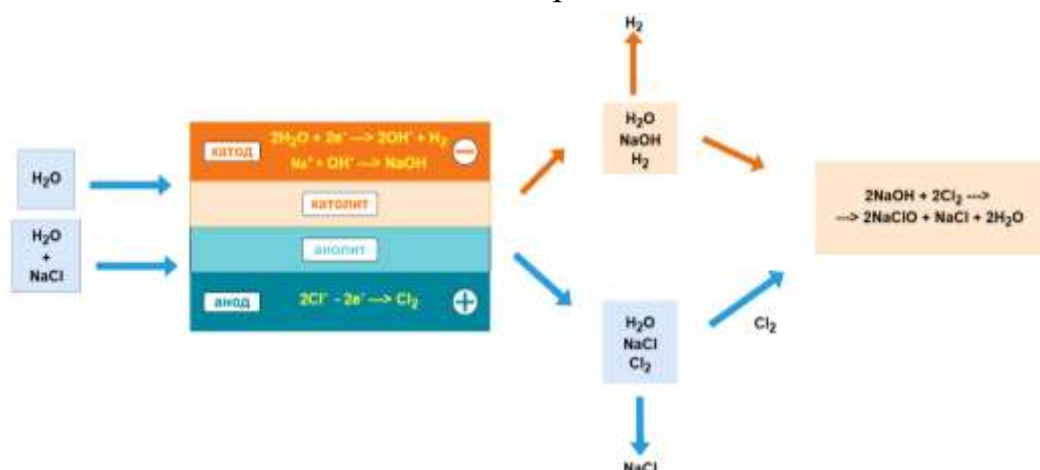


Рисунок 3 – Блок-схема процесса получения ГПХН электролизом в ячейке с мембраной

Давайте рассмотрим метод, который включает разделение электродных отсеков. Графическое изображение процесса можно найти на рисунке 4.

В системе электролиза на основе мембраны специализированная мембрана разделяет анодную и катодную камеры, пропуская только положительно заряженные ионы (катионы). В анодную камеру вводится солевой раствор, а в катодную камеру подается вода. При протекании электрического тока молекулы воды на катоде расщепляются на гидроксильные ионы (OH^-) и газообразный водород (H_2). Тем временем в анодном отсеке хлорид-ионы (Cl^-) подвергаются окислению, образуя молекулярный хлор (Cl_2).

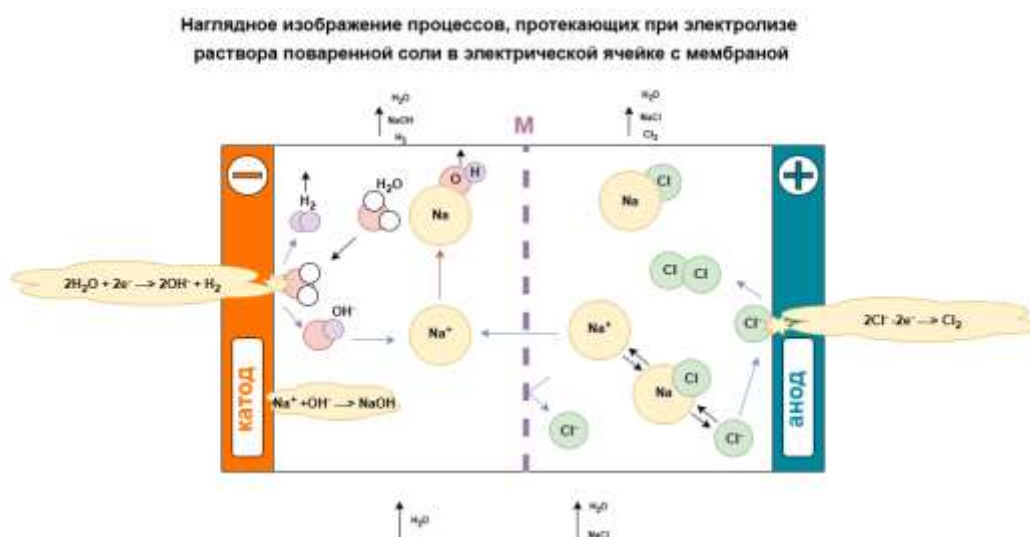


Рисунок 4 –Изображение процессов, протекающих при электролизе раствора поваренной соли в электрической ячейке с мембраной

Одновременно ионы натрия (Na^+) из солевого раствора мигрируют через мембрану в катодную камеру, где они реагируют с гидроксильными ионами (OH^-) с образованием каустической соды (NaOH).

В процессе немембранного электролиза анолит, состоящий из хлора и непрореагировавшей соли, направляется в специализированный сепаратор. Внутри этого блока хлор извлекается, а оставшийся раствор подвергается измерению плотности. Затем в смесь с помощью насоса вводится дополнительная соль. Отделенный хлор переносится в реактор, образуя гипохлорит натрия (ГПХН). Конечный продукт хранится в специальном контейнере, в то время как побочный продукт водорода либо выбрасывается в атмосферу, либо разбавляется воздухом с помощью специализированной системы.

Для того чтобы сэкономить энергию, в системе установлены теплообменники, которые восстанавливают тепло, полученное в процессе.

На данный момент несколько компаний специализируются на производстве электролизных установок для получения гипохлорита натрия. Среди них ООО НПФ «Невский Кристалл», ООО «АкваТехМаркет» и НПК «Эколог» [4-6].

Более подробное рассмотрение ООО НПФ «Невский Кристалл» оправдано, так как компания занимается разработкой электролизных установок более 15 лет. За это время они успешно реализовали более 100 проектов и получили 8 патентов, которые постоянно используются в процессе производства оборудования.

Компания распространила свои установки на такие страны как: Россия, Казахстан, Молдавия, Узбекистан и Монголия. Встречаются и большие, и ма-

лые. Используемые на очистке стоков или водоподготовке, а также релейные и интегрированные в верхний уровень SCADA.

У компании имеется опыт в реализации объектов ЖКХ, химической или нефтегазовой промышленности.

В списке производимого оборудования компании находятся:

1) Компактные электролизные установки, способные производить до 30 кг активного хлора за сутки. Такие установки выполнены в виде рамной конструкции, на которой размещается все необходимое оборудование, такое как сатуратор, ёмкости для хранения и насосы для дозирования. Данная конструкция заметно облегчает монтаж установки и позволяет экономить пространство, ведь для такой установки достаточно помещения площадью 10-12 м².

В качестве примера известно, что такая установка, под именем ЭПМ-50, была реализована в водоканале Нефтекамска в 2011 году.

2) Когда необходимо оперативная дезинфекция вод, а соответствующая инфраструктура недееспособна, имеются модульные установки, являющиеся оптимальным решением данной проблемы. Данные установки, а также всё необходимое оборудование размещаются в подготовленных контейнерах, что позволяет избежать проектирования, потому что для установки модуля необходим лишь проект привязки к сетям. К тому же пропадает необходимость строить специальное здание, в котором бы размещалась установка. Время на подготовку контейнера совпадает со сроками производства электролизной установки, такой способ позволяет уменьшить интервал времени от принятия решения о размещении установки до ввода её в эксплуатацию до 3-4 месяцев.

В качестве примера реализации такой установки, можно привести пример ввода её в эксплуатацию в Нефтегорске на водозаборе «Ветлянка», где запуск состоялся в 2022 году, а имя установки ЭПМ-20.

В статье были рассмотрены такие темы как: устройство, принцип работы электролизных установок и процесс производства гипохлорита натрия с анализом преимуществ и особенностей эксплуатации такого оборудования, включая методы его производства и использования в различных сферах.

Электролизные установки исполняют важную роль в текущих промышленных процессах и обеспечивают эффективность выполнения задач по химическому синтезу. Производство гипохлорита натрия посредством электролиза является экологически безопасным, а также экономически выгодным решением, которое позволяет сократить эксплуатации опасных веществ.

Проведение анализа технологий позволило выяснить, что современные системы обладают высокой степенью автоматизации, универсальностью, а также компактностью, что делает их удобными как промышленных объектов любых величин.

Результатом внедрения таких технологий является то, что предприятия получают возможность не только повысить качество продукции, но и способствовать снижению уровня загрязнения. В дальнейшем развитие электролизных установок будет направлено на повышение их надёжности, доступности и энергоэффективности.

Список литературы

1. Научный журнал. Электролизные установки – это технические системы. –URL: <https://na-journal.ru/5-2024-elektrotehnika/11938-elektroliznye-ustanovki> (дата обращения: 17.01.2025).
2. WWTEC. Электролизные установки для очистки воды. –URL: <https://wwtec.ru/index.php?id=545> (дата обращения: 17.01.2025).
3. РУГИДРО. Получение гипохлорита натрия электролизом поваренной соли. –URL: <https://rugidro.com/info/articles/poluchenie-gipokhlorita-natriya-elektrolizom-povarennoy-soli/> (дата обращения: 17.01.2025).
4. Научно-производственная фирма «Невский Кристалл». Официальный сайт. –URL: <https://npfnk.ru/> (дата обращения: 17.01.2025).
5. Научно-производственная компания «Эколог». – URL: <https://npkekolog.ru/> (дата обращения: 19.01.2025).
6. Компания «Акватехмаркет». – URL: <https://aquatechmarket.ru/> (дата обращения: 19.01.2025).

References

1. Scientific journal. Electrolysis units are technical systems. – URL: <https://na-journal.ru/5-2024-elektrotehnika/11938-elektroliznye-ustanovki> (date of access: 17.01.2025).
2. WWTEC. Electrolysis units for water purification. – URL: <https://wwtec.ru/index.php?id=545> (date of access: 17.01.2025).
3. RUGYDRO. Production of sodium hypochlorite by electrolysis of table salt. – URL: <https://rugidro.com/info/articles/poluchenie-gipokhlorita-natriya-elektrolizom-povarennoy-soli/> (date of access: 17.01.2025).

4. Scientific and Production Company «Nevsky Crystal». Official website. – URL: <https://npfnk.ru/> (date of access: 17.01.2025).
5. Research and production company «Ecolog». – URL: <https://npkekolog.ru/> (date of access: 19.01.2025).
6. Company «Aquatechmarket». – URL: <https://aquatechmarket.ru/> (date of access: 19.01.2025).

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОБЖИГОМ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ
В ТУННЕЛЬНОЙ ПЕЧИ**
CONTROL SYSTEM FOR FIRING CERAMIC TILES IN A TUNNEL KILN

Лободин А.Ю., инженер

Филиал ПАО «Ил» - ВАСО

Поляков С.И., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

lobodin98@mail.ru

Lobodin A.Y., engineer

Voronezh Aircraft Joint-Stock Company

Polyakov S.I., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматривается система управления туннельной печью для обжига керамической плитки с усовершенствованной системой движения дымовых газов и ПИД-регуляторами температуры.

Summary: The article discusses the control system of a tunnel kiln for firing ceramic tiles with an improved flue gas movement system and PID-temperature controllers.

Ключевые слова: обжиг, сушка, охлаждение, смешивание, форсунка, природный газ, атмосферный воздух, противоток, регулирование, автоматизация, вентилятор.

Keywords: firing, drying, cooling, mixing, nozzle, natural gas, atmospheric air, counterflow, regulation, automation, fan.

Обжиг – сложный физико-химический технологический процесс. Он необходим для спекания керамической массы, а также для того, чтобы полученные изделия приобрели необходимую прочность, водонепроницаемость, цвет.

В процессе обжига снижается пористость в материале и создается защитное декоративное покрытие – глазурь. Она представляет собой стеклообразное водостойкое покрытие, благодаря чему плиточное покрытие получило широкое применение в помещениях с повышенными санитарными требованиями.

Рассмотрим производство керамической плитки на предприятии с туннельной печью. По технологическому процессу керамическая масса движется по роликам в зону сушки печи, где нагревается до температуры 50-200°C. Далее полуфабрикат движется в зону подготовки, где нагревается до температуры 500-1000°C. Затем полуфабрикат поступает в зону обжига, где температура составляет 1000-1300°C, приобретает наиболее важные конечные свойства и отправляется в зону охлаждения, где быстро остывает до 600°C [1].

Представленная на рисунке 1 печь туннельная обеспечивает комплексную обработку сырой плитки, поступающей на обжиг, начиная от зоны сушки, далее проходя зоны подготовки и, собственно, зону обжига и заканчивая процесс в зоне охлаждения. Печь оснащена необходимым и достаточным комплексом технологического оборудования, а также исполнительных устройств для осуществления процесса обжига.

Позицией 1 обозначен сам туннель с ролями для непрерывного перемещения плитки (слева направо), вентилятор 2 обеспечивает откачку отработанного теплоносителя и далее поступления его в камеру смешивания с атмосферным воздухом и подачи смеси вентилятором 3 снова для охлаждения.

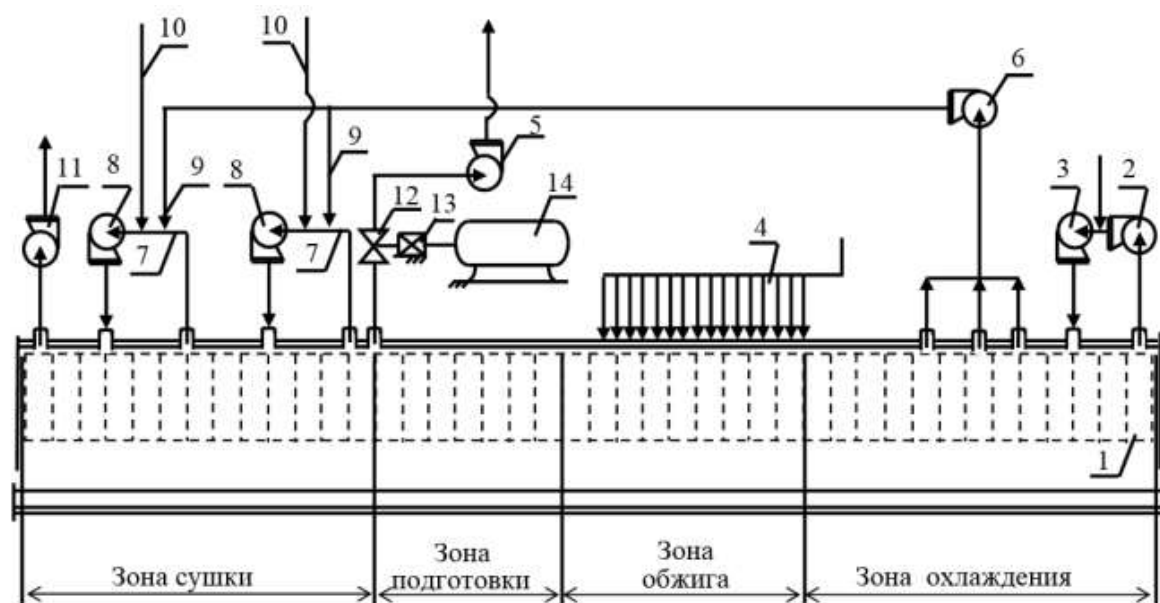


Рисунок 1 – Внешний боковой вид печи туннельного принципа действия для обжига плитки

Система подачи природного газа сжигания и образования топочных газов изображена позицией 4. Вентилятор 5, который находится в конце зоны сушки, выбрасывает дымовые газы в атмосферу.

Перед вентилятором 5 расположена система автоматического регулирования разряжения, которая обеспечивается оборудованием, состоящим из электродвигателя 14, механического преобразователя 13 и обратного клапана 12. Разряжение создается в зоне обжига по технологическим соображениям и соответствует диапазону 25-35 Па.

Вентилятор 6 откачивает теплоноситель из зоны охлаждения и по длинному трубопроводу нагнетает его в зону сушки, где происходит смешивание (позиция 9) теплоносителя с атмосферным воздухом и далее вентилятором 8 смесь подается в начало зоны сушки. Аналогичная вентиляционная система обеспечивает приток свежего воздуха и его смешивание с теплоносителем из зоны охлаждения для подачи смеси в конец зоны сушки (позиции смесителя 7, вентилятора 8 и подачи атмосферного воздуха 10).

Принцип работы туннельной печи основан на движении топочных газов, атмосферного воздуха и теплоносителя. Для этой цели смешивается атмосферный воздух с отработанным теплоносителем вентиляторами соответственно 3 и 2, за счет чего возникает перепад давлений и теплоноситель движется в направлении противоположному направлению перемещения плиток (справа налево).

В результате работы перекачивающих (позиции 2, 6, 8) и нагнетательных (позиции 3, 10) вентиляторов создается особый аэродинамический режим, который и поддерживает необходимую температуру в различных зонах печи.

Природный газ в системе 4 смешивается с атмосферным воздухом для получения необходимой концентрации газовой смеси для эффективного сгорания. Газовоздушная смесь поступает на сгорание с помощью форсунок [2].

Теплоноситель, двигаясь из зоны охлаждения в направлении зоны сушки, смешиваясь с атмосферным воздухом, изменяет свою температуру и влажность, которые поддерживаются в соответствии с технологическим регламентом на заданном уровне.

Завершающим этапом является выброс теплоносителя в атмосферу вентиляторами 10 и 11.

Для регулирования температуры внутри печи установлены ПИД-регуляторы. Их выбор обоснован тем, что точность ПИД-регуляторов в десятки раз выше регуляторов, работающих по позиционному принципу.

На рисунке 2 изображена одна отдельная секция туннельной печи, оснащенная технологическим оборудованием для осуществления регулирования теплового процесса.

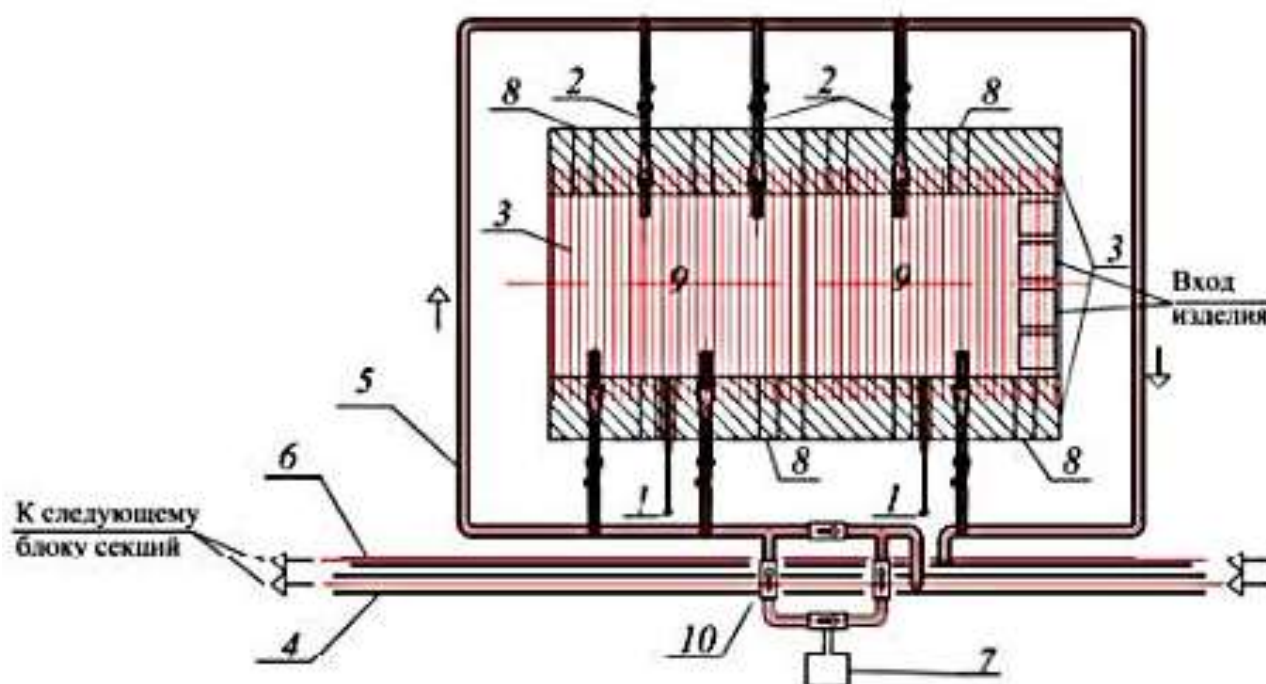


Рисунок 2 – Блок секции туннельной печи:

- 1 – первичный измерительный преобразователь температуры (термометр сопротивления или термопара); 2 – горелки для подачи природного газа;
- 3 – начало зоны секции; 4 – основной газопровод; 5 – секционный газопровод;
- 6 – дополнительный газопровод; 7 – исполнительное устройство;
- 8 – технологическое отверстие; 9 – зона тепловой обработки плиток;
- 10 – регулирующий орган (вентиль)

Контур автоматического регулирования температуры создается по типовому принципу и содержит следующий комплекс технических средств: технологические датчики температуры (например, термопары), регулятор температуры, реализующий ПИ- или ПИД-закон регулирования, исполнительный электропривод с регулирующим краном или вентилем подачи газа и (или) атмосферного воздуха. Датчики для контроля температуры в зоне не участвуют в процессе регулирования, а служат для передачи текущей информации в цифровом виде на промышленный компьютер. [3]

На рисунке 3 представлена функциональная схема автоматизации, содержащая датчики температуры, исполнительные однооборотные электрические механизмы МЭО, регулирующие краны КР-160, щиты автоматики №1...№20,

АЦП и ЦАП. Обмен информацией с промышленным компьютером выполняется через интерфейс RS-232.

Регуляторы с ПИД-законом и широтно-импульсной модуляцией образуют локальный контур регулирования и входят в состав щита автоматики.

В процессе управления происходит обработка сигнала от датчиков из аналогового в цифровой. Затем происходит сравнение входного сигнала с заданным и нахождение ошибки регулирования. Регулирующее воздействие подавляет ошибку и обеспечивает необходимое качество управления.

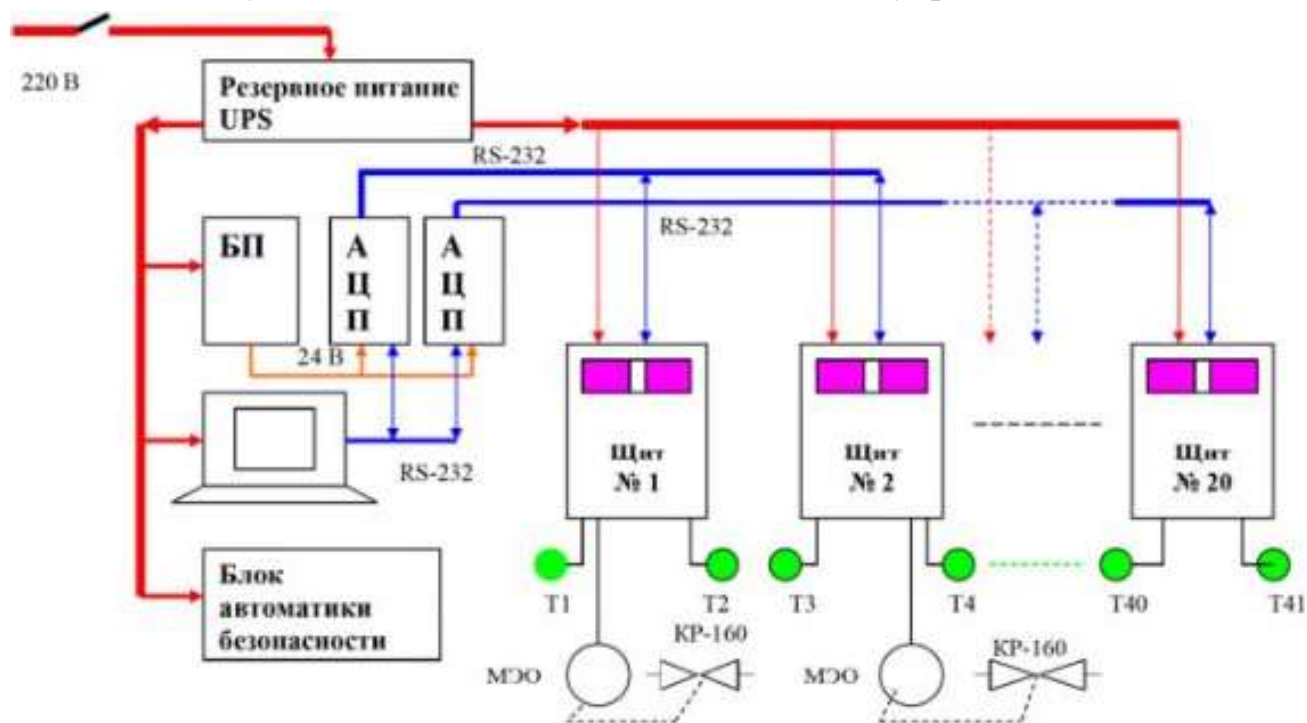


Рисунок 3 – Функциональная схема автоматизации туннельной сушилки

Таким образом, на рисунке 4 иллюстрируется исполнительная часть контура регулирования по реализации управляющего воздействия на регулируемый орган (вентиль, кран) электрического исполнительного устройства. В зависимости от выработки реверсивного сигнала управления включается прямая или обратная выходная цепь, приводящая в действие исполнительный двигатель. Вентиль меняет расход газа, интенсивность пламени и устанавливает заданный тепловой режим. При необходимости оператор корректирует параметры настройки ПИ- или ПИД-регуляторов.

Время изодрома, время предварения и коэффициенты усиления позволят реализовать необходимо качество управления [4].

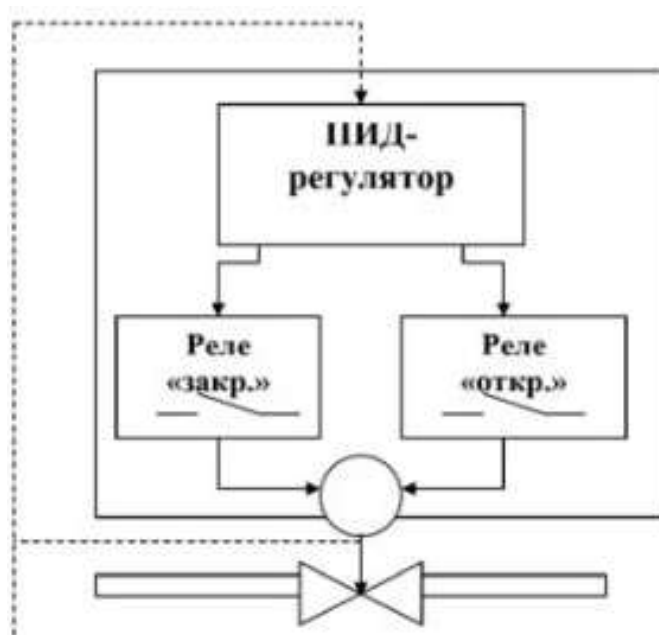


Рисунок 4 – Особенности работы ПИД - регулятора при управлении задвижкой

В заключении отметим, была рассмотрена туннельная печь с усовершенствованной системой движения дымовых газов, в которой установлены ПИД-регуляторы температуры. Исходя из полученной информации можно сделать вывод, что данная автоматизированная линия по производству керамической плитки может существенно снизить затраты на энергоносители и повысить качество как самого процесса управления, так и выпускаемой продукции.

Список литературы

1. Воликов, А.Н. Энергоэффективность модульной конструкции роликовой печи для производства керамической плитки /А.Н.Воликов, В.Б. Бируля // Вестник гражданских инженеров. –2012. –№ 5 (34). – С. 158-163.
2. Штаудте, В. Рациональное использование энергии при обжиге керамики / В.Штаудте. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 88 с.
3. Автоматизация металлургических печей / В.Ю. Каганов [и др.]; под ред. О.М. Блинова. – М.: Металлургия, 1975. – 376 с.
4. Шляйхер, М. Техника автоматического регулирования для практиков / М.Шляйхер. – М.: JUMO, 2006. – 273 с.

References

1. Volikov, A.N. Energy efficiency of the modular design of a roller furnace for the production of ceramic tiles / A.N. Volikov, V.B. Birulya // Bulletin of Civil Engineers. – 2012. – № 5 (34). – Pp. 158-163.

2. Staudte, V. Rational use of energy during ceramic firing / V. Staudte. – M. : Legprombytizdat, 1987. – 88 p.
3. Automation of metallurgical furnaces / V.Yu. Kaganov [et al.]; edited by O.M. Blinov, Moscow: Metallurgiya Publ., 1975. – 376 p.
4. Schleicher, M. The technique of automatic regulation for practitioners / M. Schleicher. – M. : JUMO, 2006. – 273 p.

ОБЗОР ГУМАНОИДНЫХ РОБОТОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ **AN OVERVIEW OF HUMANOID ROBOTS AND THEIR APPLICATIONS**

Локтионов А.С., студент

Карелин А.Н., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

sasaloktionov255@gmail.com

Loktionov A.S., Student

Karelin A. N., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В современном мире с каждым годом все больше и больше появляется различные роботы, которые заменяет человека в различных сферах. Такие роботы могут, выглядеть по-разному: от простой роботизированной руки до робота похожего на человека, про этих роботов и будет рассказываться в данной статье, а именно какие существуют, где уже применяют и дальнейшее перспективы в применении.

Abstract: In the modern world, every year there are more and more different robots that replace humans in various fields. Such robots can look in different ways: from a simple robotic arm to a human-like robot, and these robots will be discussed in this article, namely, which ones exist, where they are already being used, and further prospects for use.

Ключевые слова: Гуманоидный робот, робот.

Keywords: Humanoidrobot, robot.

Введение

Гуманоидный робот – это робот, похожий анатомически и физиологически на человека. Это не просто машина, а устройство способное взаимодействовать с окружающим миром подобно человеку.

Главное отличие гуманоидных роботов от других в том – это внешний вид и конструкция. Они обладают головой, руками, ногами, туловищем, напоминающие человеческие. Даже есть модели, которые внешне выглядят как человек и могут имитировать мимику человека. Так же таких роботов называют андроидами.

Конструкция робота

По конструкции гуманоидный робот отличается от обычного тем, что подвижные конечности сделаны схожими с человеческими.

Конструкцию робота можно разделить на 2 части: корпус и мозг робота.

В корпус робота входит само тело робота, а именно туловище, руки и ноги. В туловище, как правило, располагаются аккумуляторные батареи, микропроцессоры для связи конечностей с мозгом и каркасный скелет.

Мозг робота – это центральный процессор, который обрабатывает информацию с встроенных в него сенсоров: датчик давления, температуры, микрофоны, камеры, лидары и т.п. Обычно оснащение робота зависит от задачи, которую он должен выполнять.

Центральный процессор робота взаимодействует с микропроцессорами размещенными по всему телу. С помощью их, мозг управляет остальными системами робота, а именно движением конечностей и дополнительным оборудованием.

Но особенностью мозга является не только конструкция, но и программа, загруженная в него. Именно программа позволяет управлять всем этим телом. Чем лучше отлажена программа, тем лучше движения робота. Частностью в качестве управляющей программы используют искусственный интеллект. Искусственный интеллект позволяет сделать робота более самостоятельным.

Поговорим о сферах применения данных роботов.

Сферы применения

Данных роботов можно применять в следующих сферах:

1. Промышленность. Для автоматизации производственной линии, где нельзя применить обычного робота, а работает человек.

2. Медицина. Робот может проводить операции без переоборудования помещения. Лечить людей в опасной зоне или людей, которым опасны необработанные объекты, либо ухаживать за пациентом.

3. Образование. Роботы могут проводить семинары, проводить практические занятия или быть лаборантами. Главное преимущество применения в дан-

ной сфере в том, что робот может подстраиваться под ученика без всяких проблем.

4. Экономика. Роботы могут проводить точные расчеты и подстраиваться под темп работы без эмоций.

5. Политика. В данной сфере робот может служить как представитель человека при командировках, что позволит обезопасить человека.

6. Военная сфера. При применении в данной сфере роботов, позволит сократить человеческие жертвы, так как они могут использовать человеческие инструменты без проблем и не имеют эмоций.

7. Сфера обслуживания. Данных роботов можно применять в качестве официантов, продавцом, доставщиков. Преимущество их применения в том, что они будут обходительно общаться с клиентом и не чувствуют усталость.

8. Общественная сфера. Также таких роботов можно применять и для домашнего использования. Например, для ухода за пожилыми или больными людьми, как дворецких или как личных помощников.

В общем, применять таких роботов можно в любой сфере, где задействован человек, но это зависит это больше не от конструкции, а от степени развития искусственного интеллекта, т.к. без развитой программы, это просто бездушная игрушка.

Рассмотрим роботов, которые уже существуют.

Armar-6

Armar-6 – это гуманоидный робот, разработанный учеными из Технологического института Карлсруэ в Германии для применения на производстве. Данный робот передвижение осуществляет с помощью колес, а манипулирует объектами с помощью пары «рук», позволяющие ему использовать различные инструменты. Armar-6 способен помогать людям перемещать тяжелые предметы. Робот оснащен искусственным интеллектом, позволяющий взаимодействовать с человеком и окружающим миром.

Данный робот ещё находится на стадии разработки, поэтому он еще не скоро приступит к своей работе. Робот изображен на рисунке 1.

Digit

Digit – это гуманоидный робот грузчик, разработанный компании Agility Robotics в США. Известно, что рост робота 175 см, а вес 65 кг, также известна грузоподъемность робота, которая составляет 16 кг, хотя это зависит от заказчика, а именно с какой мощностью заказывать робота. Данный робот оснащен головой, туловищем, парой «рук» и «ног».



Рисунок 1 – Робот Armar-6

С помощью ног робот может передвигаться, приседать, поднимать предметы, регулируя свой центр тяжести в зависимости от габаритов груза. Так же он может подниматься после падения.

Данный робот тестируется на складах Амазон в США. Робот изображен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Робот Digit

Tesla Optimus

Tesla Optimus – это гуманоидный робот, разработанный фирмой Tesla в США. Данный робот является новой разработкой, по задумке создателей, робот сможет выполнять «скучные задачи», такие как покупка продуктов, поход в аптеку и выполнение домашней работы. Первый прототип вышел плохо, слишком медленный

Данный робот оснащен новыми руками. В кончики пальцев встроены датчики давления, что позволяет роботу работать с хрупкими предметами. В

стопы встроены специальные датчики, которые ему лучше позволяют держать равновесие.

Компания рассчитывает, что робот будет стоить 20 тысяч долларов и сможет стать первым домашним андроидом. Робот представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Робот TeslaOptimus

Phoenix

Phoenix – это гуманоидный робот, разработанный компанией Sanctuary AI в Канаде. Робот оснащен руками, похожими на человеческие и способен поднимать до 25 кг. Вес робота составляет 70 кг, а рост 170 см. Так как и в предыдущем роботе, в этом встроенные датчики давления, которые позволяют выполнять мелкие моторные операции.

Особенностью этого робота является в том, что он запрограммирован на 3 режима работы: управляемый человеком через шлем виртуальной реальности и систему захвата движения, частично пилотируемый и автономный – на основе собственного искусственного интеллекта Carbon.

По словам разработчика, система учиться двигаться за счет оператора с помощью системы захвата движения. Робот изображен на рисунке 4.

Валькирия

Валькирия – это гуманоидный робот, разработанный в НАСА. Робот предназначен для выполнения космических миссий, а также может использоваться в зонах стихийных бедствий.

Рост робота составляет 188 см, а вес 136 кг, имеет 44 степени свободы. Руки робота оснащены большим и 3 пальцами. Работает от аккумулятора 1 час. Взаимодействует с внешними системами с помощью WI-FI ИЛИ интернетом. Робот облачен в мягкую ткань не только для защиты конструкции, но и для без-

опасности человека. Робот оснащен модульной системой для удобства сборки и обслуживания. Робот представлен на рисунке 5.



Рисунок 4 – Робот Phoenix



Рисунок 5 – Робот Валькирия

Теперь рассмотрим самых неоднозначных роботов из данного вида.

София (робот)

София – это человекоподобный робот в виде женщины, разработанный Hanson Robotics в Гонконге. Робот спроектирован так, чтобы учиться и адаптировать к поведению общества, а также влиться в него. София самый шумевший робот, с которым проводилось множество экспериментов по всему миру.

Робот способен имитировать человеческие жесты и выражения лица, может проводить простые беседы по заранее определенным темам. Всего робот может имитировать 60 эмоций. София учится на проведенных разговорах и, на основе результатов диалогов улучшает будущие ответы.

Данный робот был разработан для работы в домах престарелых или мог помогать в управление предприятие. Робот представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Робот София

Алекс (робот)

Алекс – это человекоподобный робот, созданный пермской компанией Промобот. Робот может выполнять роль консультанта, продавца и консьержа.

Робот создан по образу человека, но при этом не имеет внешней оболочки. Может копировать эмоции человека: может двигать глазами, проводить диалоги с людьми. Робот может имитировать 600 вариантов микромимики человека.

По словам гендиректора Промобота Чигунова Максима, главная задача робота – это автоматизация процессов консультирования. Робот представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Робот Алекс

Анализ

Из выше перечисленных роботов можно сделать вывод, что разработка данных роботов востребована. Каждый из представленных роботов имеет раз-

ную конструкцию, но есть и общая черта – они похожи на людей. Достоинством такого подхода к изготовлению роботов является то, что не надо переделывать здание или изготавливать специальное оборудование, он может пользоваться инструментами людей.

Почти на всех предприятиях работают люди, при применении такого подхода к автоматизации, затраты и масштабы внедрение будут относительно минимальны.

Такие роботы не только продвинут уровень автоматизации на новый уровень, но изменят привычный мир.

Гуманоидных роботов можно применять в общепите, в торговле, в медицине и во многих других сферах, где задействован человек. Робот не будет чувствовать эмоции, и будет выполнять свою работу без колебаний или отвращения.

Такой робот имеет ограничения в плане функциональности, но и областей применения у него очень много.

Заключение

В заключение можно сказать, что данный вид роботов – это будущее человечества. Андроиды могут выполнять работу за человека без сна и отдыха. Конечно, не всю работу можно доверять, но с развитием технологий, в далеком будущем, можно будет, не заменит разницу между человеком и роботом [1-15].

Список литературы

1. Что такое роботы-гуманоиды. – URL: <https://robosobaka.ru/> (дата обращения: 19.02.2025).
2. Новый складской робот-помощник. – URL: <https://www.techinsider.ru//> (дата обращения: 19.02.2025).
3. Человекоподобное, роботизированное. – URL: <https://habr.com/> (дата обращения: 19.02.2025).
4. Каковы основные компоненты роботов-гуманоидов (двигатели, коробки передач). – URL: <https://doncenmotor.com/> (дата обращения: 20.02.2025).
5. Optimus (robot). – URL: <https://en.wikipedia.org/> (дата обращения: 20.02.2025).
6. Роботы-гуманоиды: как они устроены и что могут делать? – URL: <https://dzen.ru/> (дата обращения: 21.02.2025).
7. At UN, robot Sophia joins meeting on artificial intelligence and sustainable development. – URL: <https://www.un.org/> (дата обращения: 21.02.2025).

8. Valkyrie (robot). – URL: <https://en.wikipedia.org/> (дата обращения: 21.02.2025).

9. 5 роботов, похожих на людей. –URL: <https://bim-portal.ru/> (дата обращения: 21.02.2025).

10.София (робот). –URL: <https://ru.wikipedia.org/> (дата обращения: 21.02.2025).

11.NASA представило Valkyrie – гуманоидного робота, который будет участвовать в финале конкурса DARPA. –URL: <https://habr.com/> (дата обращения: 24.02.2025).

12.Знакомьтесь, София: робот, почти неотличимый от человека. –URL: <https://habr.com/> (дата обращения: 24.02.2025).

13.Гостей ВЭФ встретил робот «Алекс». –URL: <https://iz.ru/> (дата обращения: 24.02.2025).

14.Пермский предприниматель отправил на конференцию своего двойника – робота. –URL: <https://www.perm.kp.ru/> (дата обращения: 24.02.2025).

15.«После «омикрона» останутся только Алексы». Роботов-андроидов в России делают похожими на одного человека. –URL: <https://ngs.ru/> (дата обращения: 24.02.2025).

References

1. What are humanoid robots? – URL: [https://robosobaka.ru /](https://robosobaka.ru/) (date of birth: 02/19/2025).

2. New warehouse robot assistant. – URL: <https://www.techinsider.ru//> (date of issue: 02/19/2025).

3. Humanoid, robotic. – URL: [https://habr.com /](https://habr.com/) (accessed: 02/19/2025).

4. What are the main components of humanoid robots (engines, gearboxes)? – URL: [https://doncenmotor.com /](https://doncenmotor.com/) (date of access: 02/20/2025).

5. Optimus (robot). – URL: [https://en.wikipedia.org /](https://en.wikipedia.org/) (date of access: 02/20/2025).

6. Humanoid robots: how do they work and what can they do? – URL: [https://dzen.ru /](https://dzen.ru/) (accessed: 02/21/2025).

7. At UN, robot Sophia joins meeting on artificial intelligence and sustainable development. – URL: [https://www.un.org /](https://www.un.org/) (date of access: 02/21/2025).

8. Valkyrie (robot). – URL: [https://en.wikipedia.org /](https://en.wikipedia.org/) (date of access: 02/21/2025).

9. 5 robots similar to humans. – URL: <https://bim-portal.ru> / (date of birth: 02/21/2025).

10. Sofia (robot). – URL: <https://ru.wikipedia.org> / (date of access: 02/21/2025).

11. NASA has unveiled Valkyrie– a humanoid robot that will participate in the finals of the DARPA competition. – URL: <https://habr.com> / (date of conversion: 02/24/2025).

12. Meet Sofia: a robot that is almost indistinguishable from a human. – URL: <https://habr.com> / (date of request: 02/24/2025).

13. The WEF guests were greeted by the robot "Alex". – URL: <https://iz.ru> / (date of appeal: 02/24/2025). 1

4. A Perm entrepreneur sent his robot twin to the conference. – URL: <https://www.perm.kp.ru> / (date of access: 02/24/2025).

15. «After Omicron, only Alexs will remain.» Android robots in Russia are made to look like one person. – URL: <https://ngs.ru> / (date of notification: 02/24/2025).

**ОБЗОР ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ
И ОСОБЕННОСТЕЙ КОНСТРУКЦИИ РОБОТОВ ДЛЯ СКЛАДСКОЙ
ЛОГИСТИКИ**

**OVERVIEW OF THE FUNCTIONALITY AND DESIGN FEATURES
OF ROBOTS FOR WAREHOUSE LOGISTICS**

Локтионов А.С., студент

Стариков А.В., д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

sasaloktionov255@gmail.com

Loktionov A.S., Student

Starikov A.V., DSc (Engineering), Professor

FSBEI HE “Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov”

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В данной статье рассматриваются роботы для складской логистики. Описываются особенности конструкции роботов и приводятся примеры их использования.

Summary: This article discusses robots for warehouse logistics. The feature of the structure is described and examples of robots used are given.

Ключевые слова: складская логистика, роботы, особенности конструкции.

Keywords: warehouse logistics, robots, design features.

Введение

В настоящее время все активнее происходит внедрение роботов в производственную сферу. Промышленные роботы выполняют не только простые операции по перемещению предметов труда с одного рабочего места на другое, но и проводят более сложную работу, например, сварочные и сборочные операции для сложных конструкций.

При этом оказывается, что робот может не быть громоздкой конструкцией, а представлять собой достаточно компактное и мобильное устройство. О подобных роботах повествуется в данной статье, а именно речь идет о роботах для складской логистики.

Робот для складской логистики – это автоматизированное устройство, предназначенное для выполнения различных работ на складе. В частности, он может выполнять такие операции, как погрузка и разгрузка товаров, инвентаризация и транспортировка товаров внутри склада [1, 2].

Количество используемых складских роботов стремительно растет и в 2024 году превысило 1 млн. Только в компании Amazon используется более 750 тыс. роботов 12 видов. Подобные роботы могут быть представлены в различных конструктивных решениях, начиная с несложной транспортной тележки на колесиках и заканчивая гуманоидным роботом.

Элементы конструкции роботов для складской логистики

Как правило, конструктивное исполнение роботов для складской логистики включает в себя следующие элементы:

- электродвигатели, которые приводят складских роботов в движение и обеспечивают их перемещение по территории склада;
- грузовую платформу, предназначенную для размещения перевозимого груза. Грузовая платформа – это рабочая зона складского робота, именно она считается основным элементом роботизированной тележки;
- камеры и датчики, благодаря которым робот может перемещаться по территории склада, объезжать препятствия и доставлять грузы в место назначения;
- подъемный механизм, благодаря которому робот может поднимать предметы, помещать их на грузовую платформу для перевозки по складу или снимать их с грузовой платформы и помещать на место назначения (стеллаж, ячейку и т.п.);
- искусственный интеллект, благодаря которому робот может выполнять операции без участия человека-оператора.

Кроме этих элементов в складских роботах также могут быть использованы другие устройства: манипуляторы, сканеры кодов и т.д.

Классификация роботов для складской логистики

Для классификации складских роботов можно использовать следующие признаки:

- типы грузов, с которыми работают роботы;

- конструкционные особенности;
- грузоподъемность;
- тип управления (автономно или управляется оператором).

При этом в большинстве случаев применяется классификация по выполняемым задачам.

Существуют несколько распространенных видов складских роботов:

- 1) робот LMR (англ. LatentMobileRobot– скрытый мобильный робот);
- 2) робот FMR (англ. ForkMotionRobot– вилочный движущийся робот);
- 3) робот CMR (англ. ConveyerMobileRobot– конвейерный мобильный робот);
- 4) робот HMR (англ. HardMobileRobot– тяжелый мобильный робот);
- 5) роботы-грузчики.

Функциональные возможности роботов для складской логистики

Роботы для складской логистики могут выполнять следующие функции:

- автоматическое перемещение предметов. Роботы могут перемещать предметы по складу, не допуская их повреждения;
- упаковка заказов. Роботы могут автоматически упаковывать предметы в упаковку;
- сортировка заказов. Роботы могут выполнять сортировку заказов по заданной программе.
- паллетизация. Роботы могут автоматически формировать паллеты с предметами (товарами);
- повышенная безопасность. Роботы могут выполнять опасную и тяжелую работу за человека, уменьшая уровень травматичности.

Ниже рассмотрены существующие разновидности роботов для складской логистики.

Обзор разновидностей роботов для складской логистики

Роботы LMR

Роботы LMR (англ. LatentMobileRobot– скрытый мобильный робот) – роботизированная тележка, оснащенная подъемной платформой [3, 4]. Данная разновидность роботов создана для транспортировки перемещаемых стеллажей и паллет по территории склада. Внешний вид одной из моделей роботов LMR представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид робота LMR

В качестве особенностей роботов LMR можно отметить следующие:

- точная навигация, осуществляемая по ДМ-меткам, которые находятся на полу;
- система безопасности, представленная лидарами и сканерами, которые позволяют обнаруживать препятствия, наличие аварийных кнопок останова. Робот оснащен резиновой кромкой по всему периметру платформы.

Вес робота LMR может составлять до 200 кг, грузоподъемность – до 1,5 т. Роботы данного типа могут работать со стеллажами размером до 1,5×1,5×2 м.

Роботы FMR

Робот FMR (англ. ForkMotionRobot– вилочный движущийся робот)– автономный робот-погрузчик, предназначенный для выполнения погрузочно-разгрузочных операций и перемещения грузов по территории склада [5]. Роботы данного типа обеспечивают подъем и перемещение паллет с товарами, сортировку грузов, сканирование штрих-кодов, а также расстановку и хранение грузов на полках. Внешний вид одной из моделей робота FMR показан на рисунке 2.

Технические характеристики одной из моделей робота FMR–HikrobotFMRF5-1600:

- размеры (длина×ширина×высота) – 2288×1200×2219 мм;
- номинальная нагрузка – 1600 кг;
- высота подъема – 3000 мм;
- скорость подъема (с грузом/без груза) – 120/150 мм/с;
- навигация – с использованием лазера SLAM;
- номинальная скорость движения – 1,5 м/с;
- точность позиционирования – ± 10 мм, $\pm 1^\circ$;
- время зарядки – 2,0 ч;
- время работы – 6-8 ч.



Рисунок 2 – Внешний вид робота NikrobotFMR

Роботы CMR

Робот CMR (англ. ConveyorMobileRobot– конвейерный мобильный робот)– автоматизированный комплекс, предназначенный для перемещения и транспортировки грузов на производственных линиях и складах [6]. Представляет собой мобильную платформу с интегрированными конвейерными системами, которые обеспечивают непрерывное движение грузов. Внешний вид одной из моделей робота CMR–NikrobotCMR показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Внешний вид конвейерного мобильного робота NikrobotCMR

Роботы HMR

Робот HMR(англ. HardMobileRobot– тяжелый мобильный робот) – мощный мобильный робот, предназначенный для выполнения сложных задач транспортировки грузов на производственных линиях и складах [6]. В частности, он может перемещать тяжелые грузы с одного конвейера на другой, за-

грузку и разгрузку грузовых автомобилей и выполнять другие операции. Внешний вид одной из моделей робота HMR–HikrobotHMR показан на рисунке 4.



Рисунок 4 –Внешний вид мощного мобильного робота Hikrobot HMR

Технические характеристики одной из моделей робота HMR–HikrobotC-3000CH:

- размеры (длина×ширина×высота) – 2000×1400×480 мм;
- номинальная нагрузка – 3000 кг;
- вес – 900 кг;
- навигация – SLAM/QR code;
- преодоление препятствий – 360° laser;
- номинальная скорость движения – 1,2 м/с;
- точность позиционирования – ± 10 мм, $\pm 1^\circ$;
- время работы – 8 ч.

Роботы-грузчики

Роботы-грузчики – это автоматические устройства, которые используются в промышленных и складских помещениях для автоматизации процессов набора, перемещения и складирования грузов [7, 8]. Данные роботы оснащены манипуляторами и камерами для работ с объектами. Внешний вид одной из моделей роботов-грузчиков – Stretch представлен на рисунке 5.

Данный робот предназначен для перемещения ящиков в складских помещениях. Он оснащен 7-осевым манипулятором с вакуумными присосками для захвата груза и мобильным корпусом. Грузоподъемность до 23 кг.

Для работы данного погрузчика не надо переоборудовать склад. Данный подход подходит для складских помещений с малыми габаритами или со старой структурой.



Рисунок 5 – Внешний вид робота-грузчика Stretch

Сравнительный анализ рассмотренных видов роботов

Рассмотренные выше роботы предназначены для складской логистики, но они различаются не только по конструкции, но и по грузоподъемности и типу транспортирующего груза.

Рассмотрим типы груза, которые роботы могут перемещать [9]:

- 1) Роботы LMR – стеллажи.
- 2) Роботы FMR – паллеты.
- 3) Роботы CMR – коробки, лотки.
- 4) Роботы HMR – стеллажи.
- 5) Роботы-грузчики – коробки.

Достоинства и недостатки роботов представлены в таблице 1.

Приведенные выше типы грузов, которые роботы могут перемещать можно сделать вывод, что данные роботы могут применяться на одном складе, так как у них разные цели. Но среди рассмотренных роботов нет такого, который мог бы загружать на себя небольшое количество груза (коробок).

Большинство рассмотренных роботов могут применяться на складах средних и больших размеров, но мало таких, которые могли бы применяться на небольших складах.

Такие роботы могут перемещать небольшое количество груза, поэтому в данном направлении нужен робот, которые мог бы проводить погрузочно-

разрулочные работы и при этом развозить значительно большее количество груза за один заезд.

Таблица 1 – Достоинства и недостатки рассмотренных видов роботов

Роботы	Достоинства	Недостатки
Роботы LMR	подъемная платформа, большая грузоподъемность (до 1,5 т)	слабая маневренность
Роботы FMR	подъемная платформа, большая грузоподъемность (от 1 т)	однотипность перевозимого груза, громоздкость, слабая маневренность
Роботы CMR	интегрированная конвейерная система, мобильность	громоздкость.
Роботы HMR	возможность загрузки и разгрузки грузовых автомобилей	ограниченная возможность манипуляции с грузом
Роботы-грузчики	наличие манипуляторов, компактность, мобильность	грузоподъемность (до 16 кг), ограниченная перевозимость груза

Заключение

Подводя итоги, можно сказать, что роботы для складской логистики имеют хорошие перспективы развития. Они могут применяться не только для транспортировки громоздких и тяжелых грузов, но и для малых и легких грузов. Роботы для складской логистики можно разрабатывать любой формы и любой грузоподъемности, каждый найдет свое применение.

Внедрение роботов в складскую логистику позволит повысить скорость работы склада и снизит потери, связанные с человеческим фактором. Применение роботов позволит сэкономить на зарплате и страховке рабочих, при условии, что они используются на крупном предприятии, поскольку стоимость роботов весьма велика.

Список литературы

1. Табылов, А. У. Роботизация современных складских логистических комплексов/ А. У. Табылов, Н. Б. Суйеуова, А. А. Юсупов // Вестник КазАТК. – №4 (119). – 2021. – С. 58-66.–URL:

<https://vestnik.alt.edu.kz/index.php/journal/article/view/300/411> (дата обращения: 19.03.2025).

2. Староверова, О. В. Некоторые особенности применения роботизированных технологий в складской логистике / О. В. Староверова, А. А. Андреева // Журнал исследований по управлению. – 2022. – Т.8, №3. – URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/52298/view> (дата обращения 19.03.2025).

3. Роботы LMR // НТЛС. – URL: <https://nt-ls.ru/catalog/mobilnye-roboty/roboty-lmr?ysclid=m7t8kcl04221518877> (дата обращения: 19.03.2025).

4. Транспортировочные платформы Atlabot LMR // Atlabot – Роботизированные транспортировочные платформы. – URL: <https://atlabot.ru> (дата обращения: 19.03.2025).

5. Роботы для склада, роботы-сортировщики AMR, FMR, CMU Комитас // comitas. – URL: <https://www.comitas.ru/production/robotizirovannye-tekhnologii-i-sistemy/> (дата обращения: 19.03.2025).

6. Конвейерный мобильный робот CMR, сверхмощный мобильный робот HMR // ТЕХНОПРОМ. – URL: https://acnc.ru/hikrobot_cmr#!/tab/671559584-1 (дата обращения: 19.03.2025).

7. James Vincent Boston Dynamics представляет нового робота Stretch, разработанного для перемещения грузов на складах // Блог НПП ИТЭЛМА – 2021. – URL: <https://habr.com/ru/companies/itelma/articles/549738/> (дата обращения: 19.03.2025).

8. Какие роботы выручают в условиях кадрового дефицита?// Промышленные страницы. – URL: <https://indpages.ru/robots/kakie-roboty-vyruchayut-v-usloviyah-kadrovogo-deficzita/> (дата обращения: 19.03.2025).

9. Автоматизация складов с помощью роботов // Блог сайта top 3d shop. – URL: <https://top3dshop.ru/blog/warehouse-and-logistics-robots-review.html> (дата обращения: 19.03.2025).

References

1. Tabylov, A. U. Robotization of modern warehouse logistics complexes / A. U. Tabylov, N. B. Suyeuova, A. A. Yusupov // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. – №4 (119). – 2021. – Pp. 58-66. – URL: <https://vestnik.alt.edu.kz/index.php/journal/article/view/300/411> (date of access: 03/19/2025).

2. Staroverova, O. V. Some features of the use of robotic technologies in warehouse logistics / O. V. Staroverova, A. A. Andreeva // Journal of Management Studies. - 2022. - Vol. 8, No. 3. – URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/52298/view> (date accessed 03/19/2025).
3. LMR robots // NTLIS. - URL: <https://nt-ls.ru/catalog/mobilnye-roboty/roboty-lmr?ysclid=m7t8kcl04221518877> (accessed: 03/19/2025).
4. Atlabot LMR transportation platforms // Atlabot – Robotic transportation platforms. - URL: <https://atlabot.ru> (date of reference: 03/19/2025).
5. Robots for warehouse, robots-sorters AMR, FMR, CMU Komitas // comitas. - URL: <https://www.comitas.ru/production/robotizirovannye-tekhnologii-i-sistemy/> (date of access: 03/19/2025).
6. Conveyor mobile robot CMR, heavy-duty mobile robot HMR // TECHNOPROM. - URL: https://acnc.ru/hikrobot_cmr#!/tab/671559584-1 (accessed: 03/19/2025).
7. James Vincent Boston Dynamics presents a new Stretch robot designed to move goods in warehouses // Blog of NPP ITELMA – 2021. - URL: <https://habr.com/ru/companies/itelma/articles/549738/> (date of access: 03/19/2025).
8. Which robots help out in conditions of personnel shortage? // Industrial pages. - URL: <https://indpages.ru/robots/kakie-roboty-vyruchayut-v-usloviyah-kadrovogo-deficzita/> (date of access: 03/19/2025).
9. Automation of warehouses using robots // Blog of the top 3d shop website. - URL: <https://top3dshop.ru/blog/warehouse-and-logistics-robots-review.html> (date of request: 03/19/2025).

**ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕН-СКАНИРОВАНИЯ И БИОМЕТРИЧЕСКОЙ
ИДЕНТИФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ ДЛЯ СКВОЗНОГО КОНТРОЛЯ
СЫРЬЯ В ЛЕСОПИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ
APPLICATION OF X-RAY SCANNING AND BIOMETRIC
IDENTIFICATION OF WOOD FOR END-TO-END CONTROL OF RAW
MATERIALS IN MANUFACTURE OF SAWN TIMBER**

Лучинский М.В., студент

Стариков А.В., д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет

имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

luchinskym@gmail.com

Luchinsky M.V., Student

Starikov A.V., DSc (Engineering), Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies

named after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматривается технология использования набора уникальных параметров брёвен, образно называемых «отпечатками» древесины (wood fingerprint), для использования в системе сквозного контроля пиловочных лесоматериалов на всех технологических участках лесопильного производства. Изложены принципы работы данной технологии, реализованной финской компанией Finnos Oy, активно внедряемой на зарубежных и отечественных лесопильных предприятиях.

Summary: The article discusses the technology of using a set of unique log parameters, figuratively called «wood fingerprints», for use in a system of end-to-end control of sawn timber at all technological sections of sawmill production. The principles of operation of this technology, implemented by the finnish company Finnos Oy, actively implemented at foreign and domestic sawmills, are presented.

Ключевые слова: контроль брёвен, «отпечаток» древесины, биометрическая идентификация древесины, пиломатериалы, лесопильное производство, рентгеновское сканирование.

Keywords: timber control, wood fingerprint, biometric wood identification, sawn timber, sawmill, x-ray scanning.

Введение

Лесопильные заводы играют ключевую роль в цепочке поставок изделий из древесины, оказывая огромное влияние на себестоимость готовой продукции.

На рисунке 1 показана цепочка поставок изделий из древесины, которая помимо прочего включает в себя и сложное лесопильное производство, состоящее из множества технологических участков.

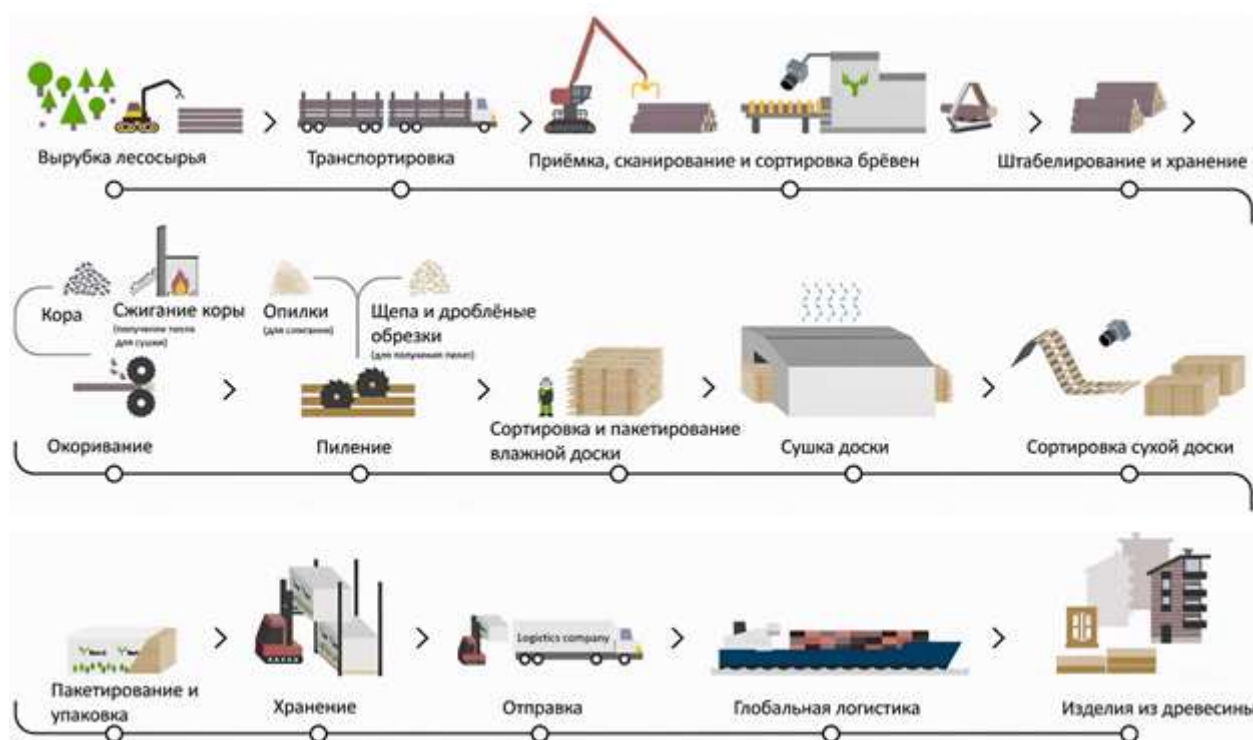


Рисунок 1 – Цепочка поставок изделий из древесины

С повышением стоимости сырья и усилением контроля за оборотом леса, на современных лесопильных комплексах возрастают требования к увеличению эффективности переработки лесоматериалов. Ключевым показателем любого лесопильного производства является процент выхода пиломатериала по сортаментам. Для достижения высоких показателей требуется постоянно улучшение производственных процессов за счёт оптимального выбора пильных поставов, корректного подбора сырья в производство и тщательной работы с лесхозами, поставляющими пиловочные материалы.

С целью улучшения бизнес-процессов поточных линий лесопиления, сушки и сортировки досок, требуется собирать как можно больше информации по каждому переделу сырья. Современные лесопильные комплексы снабжаются системами планирования и анализа данных для прогнозирования поступлений сырья на основании статистики по лесхозам, а также прогнозирования выхода пиломатериала по сортам. Ключевой проблемой, ограничивающей развитие информационных систем лесопильных предприятий, становится невозможность однозначно сопоставить данные по входящему сырью с данными по выходящей готовой продукции. После сортировки брёвен при приёмке на склад лесосырья, весь пиловочник укладывается в штабели, в которых сырьё от разных поставщиков смешивается и далее отправляется в цех лесопиления. В силу специфики процесса подбора брёвен из штабелей, отправка сырья в цех лесопиления, как правило, происходит по принципу LIFO (LastIn, FirstOut – последним пришёл, первым вышел), что также увеличивает риск возникновения залежалого пиловочника на складе. Таким образом, любой анализ себестоимости или качества производственных процессов будет базироваться только на усреднённых данных, пока не появится возможность обеспечить однозначную идентификацию каждого бревна на этапе приёмки от лесхоза, а также на этапе передачи брёвен со склада лесосырья в цех лесопиления.

Для обеспечения идентификации брёвен на предприятиях применяют различные способы, имеющие как преимущества, так и недостатки. В частности, широко используются следующие способы:

- ручная нумерация (маркирование) каждого бревна краской;
- прибивание к каждому бревну многоцветных металлических бирок;
- приклеивание RFID-меток на каждое бревно.

Указанные способы идентификации либо полностью несовместимы с автоматизированными процессами крупных лесопильных производств, либо требуют усложнения процессов. Кроме того, указанные методы подвержены ошибкам в случае потери или порчи нанесённого на бревно средства идентификации.

Суть любого метода, обеспечивающего сквозной контроль пиломатериалов, сводится к необходимости присвоить каждому экземпляру сырья уникальное цифровое значение. При этом, являясь природным сырьём, брёвна изначально наделены огромным количеством свойств, позволяющим определить уникальность каждого конкретного экземпляра, необходимо лишь получить и систематизировать эти данные в цифровом виде [1].

Современные технологии компьютерного зрения, объёмного лазерного сканирования и автоматизированного рентген-сканирования, входящие в состав автоматических линий сортировки лесопильного завода, позволяют сразу же при поступлении лесоматериалов от поставщика, получать следующую информацию о каждом бревне:

- форма бревна (полная 3D-модель);
- плотность его древесины;
- количество, положение и форма сучков в бревне;
- изображения торцов бревна.

Если все указанные информационные элементы свести в уникальный «биометрический паспорт» конкретного бревна (рисунок 2), то появляется возможность отследить его движение по всем переделам лесопильного производства со степенью достоверности, стремящейся к 100 %.

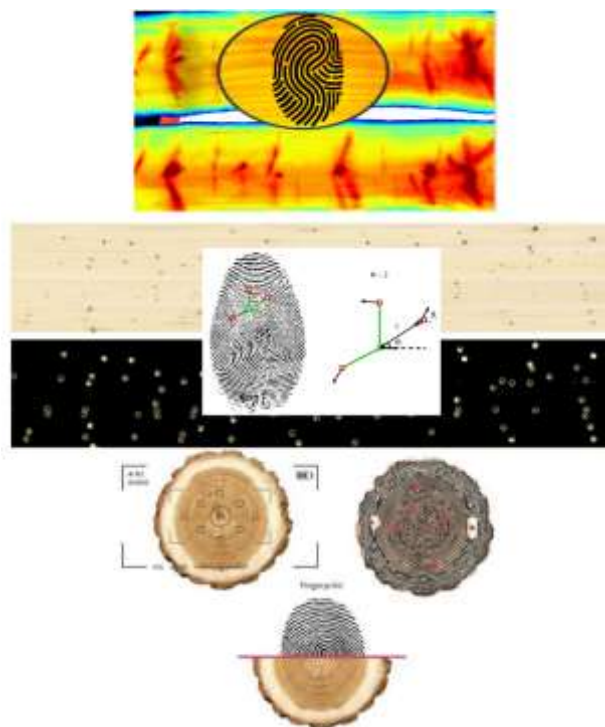


Рисунок 2 – Наглядное представление комбинации уникальных элементов, составляющих «биометрический паспорт» бревна

Опыт финских предприятий, внедривших технологию идентификации «отпечатка» древесины на уровне брёвен, показывает, что она позволяет радикально изменить подход к лесопилению, переходя от массовой поточной линии с усреднёнными показателями к индивидуальному проекту распила каждого бревна без снижения скорости работы линии лесопиления и производительности предприятия в целом. Подобный подход позволяет поднять доходность лесопильных предприятий на новый уровень.

Ниже излагаются принципы работы технологии «отпечатка» древесины (wood fingerprint) при обработке брёвен, описывается её реализация на базе современных многосенсорных сканеров Finnos Fusion, приводится схема присвоения уникального идентификатора конкретному бревну для его отслеживания на всех стадиях лесопильного производства. Также обсуждаются практические результаты применения таких систем и ожидаемый эффект от её внедрения в рамках концепции «умного» завода, отвечающей вызовам четвёртой промышленной революции – Индустрии 4.0.

Принципы технологии «отпечатка» древесины (wood fingerprint)

Концепция технологии «отпечатка» древесины (wood fingerprint) базируется на том факте, что древесина – это природный биологический материал, каждый экземпляр которого уникален. Даже при одинаковой породе и месте произрастания два дерева не будут идентичными: различаются рисунки годовичных колец, количество и расположение сучков, форма ствола, на которую влияют ветровые нагрузки и условия роста, кроме того, плотность древесины варьируется по сечению и длине ствола. Эти особенности можно рассматривать как биометрические признаки конкретного бревна. Исследователи отмечают, что если достаточно точно измерить такой набор признаков, то можно с высокой степенью точности отличить любое взятое бревно от всех остальных и узнавать его при повторном сканировании, аналогично тому как отпечатки пальцев используются для идентификации людей.

Развитие данного направления исследований началось в 2000-х годах. В работе [2] была предложена методика использования машинного зрения для опознавания «отпечатка» древесины на изображении торца спила. В совокупности с данными по конусности бревна и его параметрами кривизны, данный метод позволял достигнуть высоких показателей идентификации (порядка 70 % верных обнаружений). В дальнейшем данная методика была расширена идеей K-plets, сведения о которой, содержащиеся в работе [3], были получены в рамках исследований по идентификации человеческих отпечатков пальцев. Суть этой идеи сводится к выявлению на трёхмерной модели бревна местоположения всех сучков и сопоставлению их положения относительно друг друга для формирования набора векторов, создающих уникальный цифровой набор для каждого бревна.

Параллельно с развитием технологий трёхмерного сканирования геометрии и машинного зрения, финская компания FinnosOy стала продвигать идею использования рентген-сканеров на сортировочных линиях лесопильных заво-

дов с целью обнаружения скрытых дефектов древесины и более точного определения диаметров древесины под корой. С развитием и внедрением технологии рентген-сканирования на реальных производствах [4, 5] стало понятно, что рентгеновский снимок каждого бревна позволяет получить ещё больше данных для уникальной идентификации брёвен. Таким образом, была предложена технология LogFingerprint (англ. «отпечаток» бревна), которая совмещала в себе сбор и анализ всех приведённых признаков для каждого бревна, на основании которых создавался набор цифровых векторов, создающих уникальный «биометрический паспорт» для каждого бревна, прошедшего через сканер.

Анализ трёхмерной модели бревна

Первый из векторов данных, представленных в «отпечатке» бревна – трёхмерная модель бревна. Задача сводится к созданию вектора признаков, которые можно быстро сохранить в базе данных, а также произвести по ним оптимизированный поиск, позволяющий создать выборку небольшого массива данных для ускоренного поиска по остальным соответствиям. При трёхмерном сканировании бревна в соответствии с действующими настройками лесопильного производства, эксплуатирующего трёхмерный сканер, для каждого бревна определяются:

- диаметр вершинной части бревна (возможны варианты от 14 до 50 см с шагом до 0,1 см, чаще применяется диапазон 14...36 см с шагом в 1 см в соответствии с рекомендациями ГОСТ 32594-2013 [6]);
- диаметр комлевой части бревна (возможные вариации аналогичны вершинной части);
- точная длина бревна (в нашей стране чаще всего применяется классификация 4 и 6 метров, при этом в базу данных длина записывается с точностью до 1 мм);
- конусность;
- % кривизны;
- цилиндричность и сферичность.

Все указанные составляющие записываются в вектор поиска, позволяющий упростить подбор и извлечение данных по конкретному бревну. Помимо вектора поиска, для каждого бревна сохраняется трёхмерная модель, представляющая набор точек контура, сохранённых в виде массива в базе данных.

Анализ паттернов торца бревна

Для каждого бревна производится фиксация изображения каждого из торцов. Затем выполняется обработка изображения для извлечения данных поверхностного поиска и данных для глубокого анализа.

На первом этапе обработки изображения автоматически удаляется фон и создаётся изображение профиля бревна. Далее для изображения профиля рассчитывается геометрический центр профиля (рисунок 3) [7].

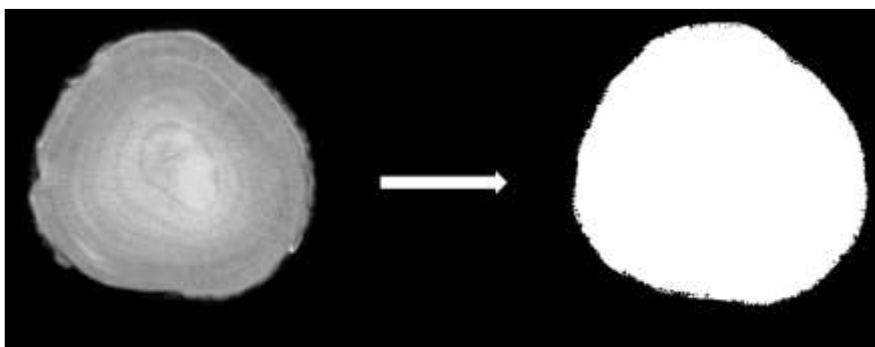


Рисунок 3 – преобразование изображения к паттерну профиля бревна

Геометрический центр изображения можно определить как центр масс плоской области G с координатами:

$$T = \left(\frac{S_y}{m}, \frac{S_x}{m} \right),$$
$$m = \iint_G f(x, y) dx dy;$$
$$S_x = \iint_G y f(x, y) dx dy;$$
$$S_y = \iint_G x f(x, y) dx dy;$$

где T – точка геометрического центра изображения;

S_x, S_y – статистические моменты распределения пикселей вдоль осей x и y соответственно;

m – суммарная масса области, равная интегралу всех значений функции $f(x, y)$, которые в данном случае равны единице для белых пикселей и нулю для всех остальных.

На основании полученного изображения паттерна, можно осуществлять ускоренный поиск соответствий даже в большой базе данных при помощи нейросетевых алгоритмов. Исследования, проведённые в IEEE в 2020 году [8], показывают, что наиболее эффективным способом подбора и распознавания изображений профиля является применение нейросети модели inception-v3, позволяющей за минимальное время поиска получить точность распознавания

бревна 98,45 %, что в сочетании с ранее проведённой выборкой набора брёвен по геометрическим параметрам позволяет свести время поиска уникального идентификатора бревна до долей секунды, а точность результатов приблизить к 100 %.

Однако, помимо точности распознавания бревна, технология «отпечатка» древесины также предполагает развитие возможностей поиска соответствий готового пиломатериала изначальному бревну, из которого он был получен (рисунок 4), что позволяет вывести аналитику производства и контроль качества на принципиально новый уровень.

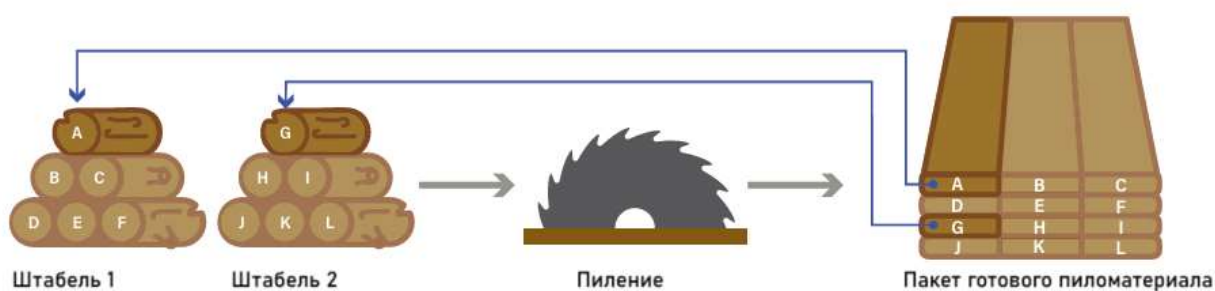


Рисунок 4 – Схематичное представление идентификации соответствия досок исходному лесоматериалу

Для достижения этой цели выполняется дальнейший анализ изображения профиля бревна. Полученный профиль торца бревна делится на сегменты [9], для каждого из которых регистрируется свой набор уникальных показателей (рисунок 5), состоящих из формы годичных колец.

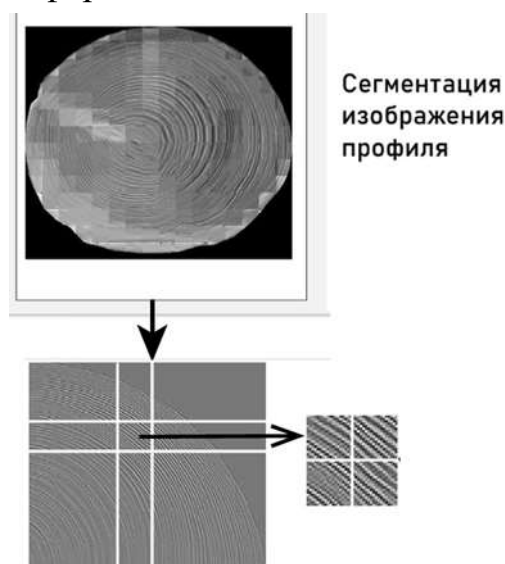


Рисунок 5 – Получение уникальных «отпечатков» древесины по сегментам профиля торца бревна

В дальнейшем эти данные будут использоваться в качестве одного из признаков для верификации соответствия доски и бревна, из которого она по-

лучена. Однако поиск лишь по сегментам профиля торцов брёвен в случае реальной лесопильной линии не эффективен, поскольку потребуются анализировать огромное количество данных, что занимает продолжительное время, а также не позволяет достигнуть высокого уровня точности подбора. Для преодоления данного препятствия было разработано ещё одно решение, основанное на анализе состава древесины, количества и формы входящих в неё сучков.

Анализ состава древесины, количества и положения сучков

Как отмечалось выше, появление на линиях сортировки современных лесопильных комплексов технологий рентген-сканирования, открыло новые возможности по идентификации брёвен. По сути, данная технология стала решающей для обеспечения возможности с практически 100 % точностью за доли секунды не только идентифицировать повторно ранее просканированное на приёмке бревно, но и определить какая доска была из него получена.

Для возможности быстрого поиска бревна, из которого произведена та или иная доска, а также подтверждения точности подбора бревна при входе в цех лесопиления, анализируется два фактора: карта плотности древесины внутри бревна и карта положения сучков (по методу K-plets) [10].

Карта плотности бревна, получаемая с помощью рентген-сканирования, является не только отличным инструментом для анализа качества сырья и прогнозирования выхода сортаментов готового пиломатериала, но и хорошим техническим средством для автоматической идентификации бревна (рисунок 6).

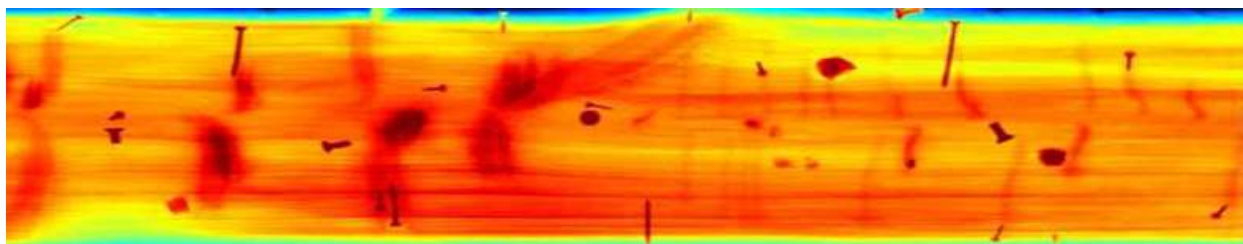


Рисунок 6 – Карта плотности бревна

Карта плотности бревна отображается на экране монитора в виде цветного изображения, на котором участки, поглощающие больше рентгеновского излучения, представлены в более темных и красных цветах. На самом же деле, рентгеновский снимок представляет собой изображение в оттенках серого цвета, сохраняемое 8-битовом формате (градация оттенков серого цвета от 0 до 255). Изображение каждого бревна сохраняется в виде массива в формате хранения матриц NumPy. При поиске соответствий в базе данных используется метод структурного сходства изображений SSIM (Structure Similarity Index Metric)

и для найденных соответствий производится попиксельное сравнение методом вычисления среднеквадратичных ошибок, или MSE (Mean Squared Error).

Помимо карты плотности, рентгеновский снимок позволяет определить в бревне количество сучков, их положение и ориентацию. Данный набор является абсолютно уникальным для каждого бревна и является одним из ключевых способов поиска и подбора соответствий между брёвнами, а также между досками и брёвнами, из которых доски были получены [10] (рисунок 7).

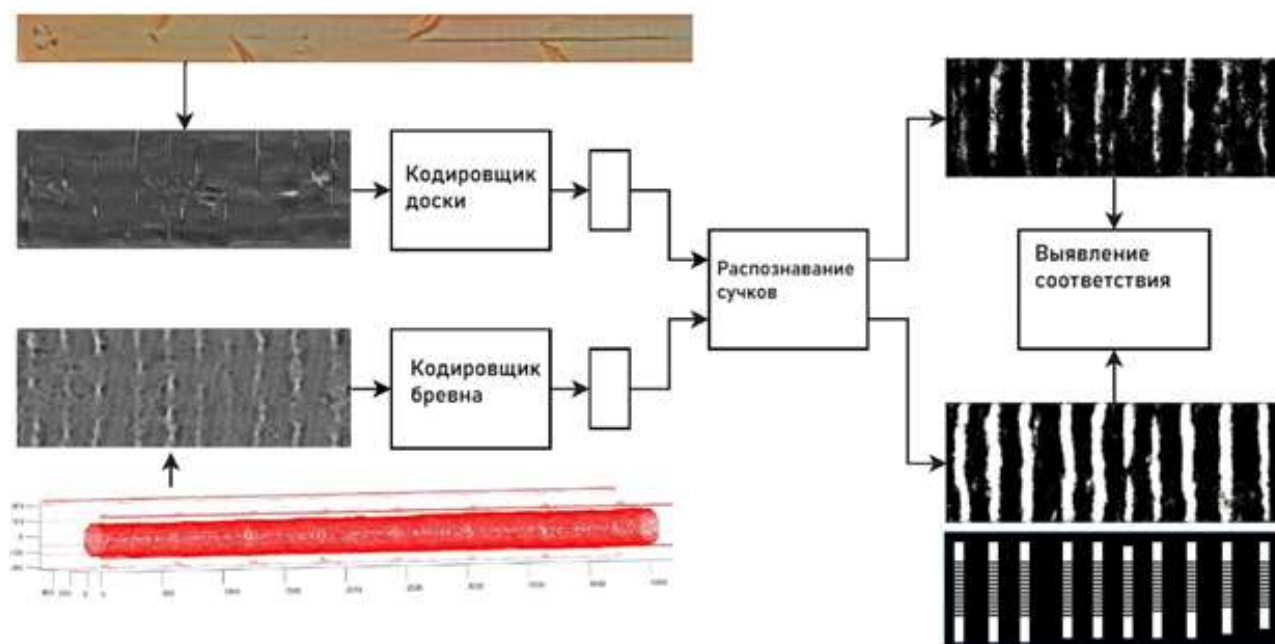


Рисунок 7 – Сопоставление данных о сучках в доске с данными о сучках в бревне

Суть метода сводится к созданию карты расположения сучков из полученного изображения готовой доски и сопоставления данной карты с картами, полученными при рентген-сканировании брёвен [10] (рисунок 8).

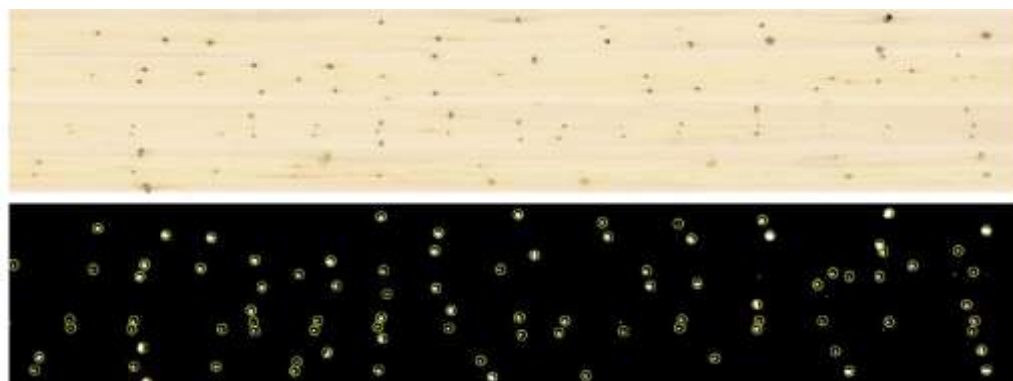


Рисунок 8 – Карта расположения сучков на доске

Расположение сучков относительно друг друга для каждого бревна уникально, как и расположение минующий (так называют окончания или ветвления папиллярных линий) на пальцах человека [11]. Таким образом, можно исполь-

зовать те же самые алгоритмы, которые применяются для машинного опознавания человеческих отпечатков пальцев. Одним из ключевых методов, адаптированных для сопоставления карт расположения сучков, является алгоритм K-plets, упоминавшийся ранее. В основе этого подхода лежит идея выделения и сравнения характерных точек (plets) на карте сучков, аналогично тому, как в дактилоскопии выделяются минюции. Метод K-plets основан на следующих принципах:

1. Выделение характерных точек (plets). На карте расположения сучков определяются характерные точки, такие как центры сучков или точки пересечения линий, соединяющих центры соседних сучков.
2. Описание окрестностей характерных точек (plets): для каждой характерной точки формируется описание её окружения, включающее информацию о расстояниях и ориентации соседних точек, а также углах между ними (рисунок 9).

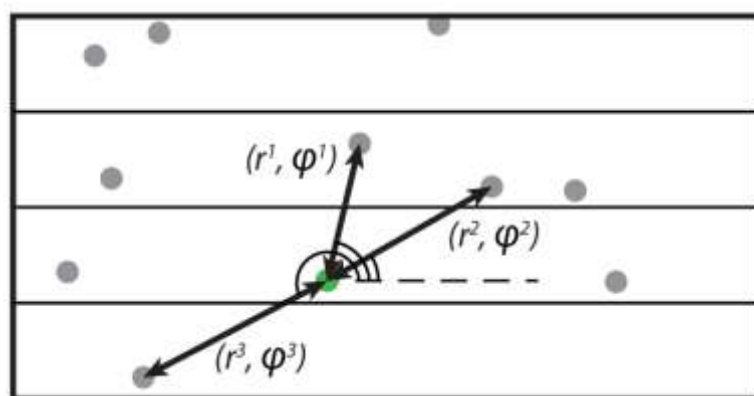


Рисунок 10 – Описание характерных точек (plets) и их окружения

3. Запись данных в виде матриц. Данные по описанию окружения характерных точек (plets) могут быть записаны в виде следующей матрицы:

$$P = \begin{bmatrix} r_1^1 & r_1^2 & \dots & r_1^k \\ r_2^1 & r_2^2 & \dots & r_2^k \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_m^1 & r_m^2 & \dots & r_n^k \end{bmatrix}$$

где P – матрица данных по окружению характерных точек;

r – величина расстояния до ближайшего элемента окружения;

φ – величина угла до ближайшего элемента окружения.

4. Сопоставление сохраненных в базе данных матриц производится методом поиска ближайших соседей в многомерном пространстве описаний характерных точек. Для каждой матрицы, полученной из изображения доски, осу-

ществляется поиск наиболее похожего соответствия среди матриц, хранящихся в базе данных бревен.

Следует отметить, что наработки в сопоставлении человеческой биометрии позволили достигнуть универсальности метода K-plets, позволяя идентифицировать соответствия, независимо от масштаба изображения или вращения. Это достигается за счёт того, что в методе используются относительные расстояния и углы между сучками.

Применение технологии «отпечатка» древесины (wood fingerprint)

Компания FinnosOy не раскрывает коммерческих подробностей применения данной технологии, однако, во всех известных презентациях от FinnosOY содержится информация о том, что предприятия, применяющие метод определения бревна с использованием «биометрического паспорта», достигают точности 99,7 % опознавания повторно сканируемых брёвен [12]. Более того, имея данные о конкретных брёвнах, вошедших в план распиловки, распределение информации о конкретном соответствии досок и брёвен возможно почти со 100 % точностью. Это означает, что практически каждое бревно на входе лесопильного цеха было корректно соотнесено с самим собой на выходе сортировочной линии. Такой результат сопоставим с надёжностью биометрических систем распознавания личности. С учётом практики применения данной технологии для обеспечения статистических данных для наиболее точного формирования себестоимости продукции и оптимизации производственных процессов, до настоящего времени подобный результат можно с уверенностью назвать непревзойдённым.

По заявлениям производителя, скорость формирования «биометрического отпечатка» бревна после его сканирования и создания трёхмерной модели, происходящих по умолчанию для любого сортировочного комплекса, составляет от 10 до 15 миллисекунд [12], а поиск соответствий по базе данных составляет менее 100 миллисекунд. Таким образом, процесс составления и сопоставления «отпечатка» для каждого бревна практически не отразится на скорости производственного процесса.

Преимущества систем сквозного контроля в лесопилении

Внедрение технологии «отпечатка» древесины (wood fingerprint) и систем сквозного контроля, использующих данную технологию, обеспечивает ряд преимуществ в лесопильном производстве, которые перечислены ниже.

1. Увеличение выхода объёма делового пиломатериала. Поскольку в данном случае индивидуальные характеристики каждого бревна известны до нача-

ла процесса пиления, появляется возможность оптимизировать схему распила бревна на требуемые сорта и размеры пиломатериалов. Например, если данные рентгеновского сканирования показывают, что какая-то часть бревна имеет большие сучки или другие дефекты, то схему распила бревна построить так, чтобы обойти эти дефекты или же вырезать их. В итоге обеспечивается увеличение выхода полезного пиломатериала из кубического метра сырья.

Кроме того, сопоставление индивидуальных характеристик бревна с выходящим пиломатериалом позволяет и обосновывает дальнейшее развитие производственной культуры с глубоким анализом производительности, например, какие бревна (по диаметру, плотности, происхождению) в каких пропорциях дают наибольший выход определенных сортов досок. Это служит хорошим средством обратной связи для поставщиков сырья и настройки оборудования (режимы пиления, углы поворота бревен, давления нажима на окоривателе). В результате сквозной контроль обеспечивает переход от средних норм к индивидуальным настройкам для каждого бревна, что снижает количество неделовых отходов при распиловке брёвен.

2. Устранение ошибок и одновременное повышение стабильности. Вероятность неправильной классификации типов бревен или некорректной работы оборудования снижается, когда каждое бревно отслеживается отдельно. Например, если бревна сортируются традиционным способом по их качеству, то бревно более качественного сорта может быть неправильно классифицировано и оказаться в партии низкосортного, в результате чего его распил будет выполнен неоптимальным образом. Однако, если каждому бревну при входе присваивается уникальный идентификатор (ID) и устанавливаются его качественные характеристики, то сканирование ID на линии становится простым средством информирования о том, соответствует ли поступившее на распиловку бревно, требуемой схеме распила. Если обнаруживается несоответствие, например, система не распознает бревно или видит новые дефекты, бревно можно отправить на дополнительную обработку. Более того, сквозной контроль упрощает расследование инцидентов: если на выходе находится дефектная доска, то легко восстановить данные по ID и определить, из какого бревна она получена, а затем выяснить, когда она была получена, чтобы установить причину (неправильная настройка конкретного оборудования, ошибка оператора и т.д.).

3. Доверие потребителей и сертификация. С учётом постоянно возрастающего внимания к законности источников лесосырья и экологической ответственности, возможность проследить, как каждая единица продукции проходи-

ла путь от леса до склада, является преимуществом. Прозрачность гарантирует непрерывный поток данных, который позже может быть интегрирован с системой сертификации древесины (например, с отечественной системой ФГИС ЛК). Таким образом, вместо случайных проверок партия распиленной древесины сопровождается своим цифровым паспортом, указывающим, из каких бревен она была произведена и с какого места заготовки она была получена. Потребитель или инспектор могут запросить проверку, и система предоставит ему точную информацию. Это значительно снижает возможное проникновение незаконно заготовленной древесины на рынок. Кроме того, некоторым клиентам (например, европейским строительным компаниям) нужна гарантированная прослеживаемость для подтверждения качества и соблюдения стандартов. Технология wood fingerprint упрощает предоставление таких гарантий без необходимости ручной маркировки каждой единицы пиломатериала или готового изделия из древесины.

4. Экологический мониторинг и экологический след. Сквозной контроль имеет экологическое воздействие. Экологический след представляется результатом отслеживания экологического влияния на каждом звене цепочки поставок готового изделия: сколько углерода сохранено в продукте, откуда пришел лес (каким образом он доставлялся) и насколько эффективно был использован ресурс. Имея подобную информацию о каждом бревне, можно рассчитать, сколько древесины попало в продукт, и сколько было потеряно (щепа, опилки), что характеризует экологичность и максимально эффективное использование ресурса. Также, если прослеживаемость начинается с вырубki леса, потребитель конечного продукта может фактически определить регион и даже точное местоположение леса, откуда древесина произошла. Когда такая информация станет доступна через QR-коды или онлайн-системы, экологическая ответственность бизнеса и социальное доверие возрастут.

5. Интеграция данных управления и инженерии производства. С точки зрения управления наличие прослеживаемости сырья и готовой продукции трансформирует завод в единую интегрированную информационную систему. Это позволяет осуществлять глобальную оптимизацию процессов. Например, при наличии предварительной информации о всей партии брёвен возможно гибко планировать производственную программу на день, неделю или даже месяц: какой пиломатериал может быть произведён, где есть избыток определённых сортов и так далее. Операционный и управленческий контроль загрузки линий лесопиления, сушильных камер и цехов сортировки может основываться

на фактическом входе сырья, а не на прогнозируемых потребностях. Интеграция искусственного интеллекта также становится проще. Теперь возможно обучать алгоритмы на полных наборах данных для обеспечения предсказуемости, какие изменения параметров пиления приведут к улучшениям для имеющегося запаса брёвен.

Перспективы и связь с Индустрией 4.0

Концепция «умного» лесопильного завода является частью более широкой парадигмы Индустрии 4.0, которая подразумевает цифровизацию и взаимосвязь всех элементов производства на высшем уровне. Основной особенностью Индустрии 4.0 является использование киберфизических систем, больших данных, машинного обучения и датчиков с исполнительными механизмами, связанных через Интернет вещей для самостоятельного управления процессами. В этой архитектуре прослеживаемость является основой для информационного потока: информация о каждом объекте (брус, доска) перемещается по предприятию и может анализироваться в реальном времени. Технология «отпечатка» древесины (wood fingerprint) идеально вписывается в эту парадигму и обеспечивает надёжную идентификацию объектов без какого-либо ручного вмешательства.

В будущем лесозаводы, оборудованные системами с технологией «отпечатка» древесины, смогут достичь следующих характеристик умного производства:

- 1) Цифровой двойник производства. Для каждого поступающего бревна создаётся цифровой двойник, который содержит всю соответствующую информацию о его характеристиках. Модель затем обновляется информацией в течение всего процесса (например, она дополняется данными о фактически полученных бревнах и их качестве). Глубокое обучение таких моделей позволяет проводить сложные симуляции. Например, компания FinnosOy совместно с партнёрами реализует проект, в рамках которого делается симуляция всего процесса – от закупки брёвен до доставки пиломатериалов потребителям. Симуляция строится на основе данных из нескольких финских лесопильных предприятий с использованием искусственного интеллекта. По мере сканирования новых брёвен модель учится более точно прогнозировать результаты пиления и регулировать управление в реальном времени. Модель нейросети, обученная на тысячах распиленных брёвен, может предоставлять рекомендации для оптимальных действий оператора или автоматически управлять производственными линиями для максимальной эффективности.

2) Гибкая перенастройка оборудования. Когда известны характеристики каждого бревна, оборудование (окориватель, транспортёр, пильный станок, сортировочный комплекс и комплекс для сушки пиломатериалов) может автоматически подстраиваться под него. Например, система, распознав бревно ID#45678 как крупномер с эксцентричной сердцевиной и одной кривизной, даст команду станку повернуть его определённым образом и выбрать схему раскроя, отличную от схемы раскроя для предыдущего бревна. В традиционной системе такой индивидуальный подход был бы невозможен из-за отсутствия точной информации или затруднений в перенастройке «на лету». Но «умный» завод, оснащённый сервоприводами и управляющим программным обеспечением, может реализовать динамическую перенастройку оборудования под каждый экземпляр сырья.

3) Прогнозирование и предотвращение поломок оборудования. Анализ «больших данных» о проходе тысяч брёвен через процессы производства поможет определить слабые места машин или технологий. Например, если статистически установлено, что брёвна с определёнными характеристиками часто вызывают поломки или задержки на определённых участках (например, превышающие норму кривизны, которые значительно затрудняют сортировку досок или с определёнными показателями плотности). В таких случаях система раннего предупреждения сигнализирует о возрастающем риске, и инженер может предпринять предварительные меры (от перенаправления этих бревен до обслуживания оборудования). Кроме того, полная история каждого элемента позволяет отслеживать дефекты: если партия пиломатериала имеет проблему, легко просканировать базу данных на предмет общих характеристик – возможно, все они происходят из брёвен определённого поставщика или были обработаны на конкретном станке, что указывает на возможные неполадки. Такие аналитические возможности возникают исключительно из наличия согласованных данных, предоставляемых системой «отпечатков» древесины.

4) Чёткая интеграция с цепочкой поставок. «Умный» завод не функционирует сам по себе, он интегрируется в большую цепочку поставок с лесными предприятиями, транспортными узлами, клиентами и обменивается с ними информацией. Если каждое бревно имеет идентификатор, известный поставщику, бревно автоматически входит в цифровую систему завода при доставке, что может сократить число повторяющихся процессов (необходимо только сканирование для подтверждения). Впоследствии готовый продукт, отправляемый клиенту, может передать свой электронный паспорт и мебельная фабрика, по-

лучающая доски, наряду с пиломатериалами получит информацию об их характеристиках и происхождении. В конечном итоге формируется единая информационная среда цепочки поставок изделий из древесины, где fingerprint-идентификатор может послужить в качестве ключа доступа к полному досье на древесину, что соответствует концепции сквозных цифровых цепочек поставок (Digital Supply Chain).

По мере развития технологии использование «отпечатков» древесины – это уже не узкоспециализированный инструмент идентификации для нужд конкретного завода. Под её применение могут подтянуться процессы всего оборота древесины. Продолжение работы по её внедрению, интеграция нейросетевых алгоритмов, удешевление оборудования или ускорение сканирования, повысит эффективность работы в этой отрасли и улучшит информационную прозрачность. Предполагается, что в течении пяти–десяти лет такое оборудование станет необходимым в составе лесопильных заводов, прежде всего, средних и крупных, которые стремятся интегрироваться в Индустрию 4.0.

Заключение

Лесопильное производство в первой половине XXI века имеет много возможностей, которые точно повлияют на её развитие, создавая новый уровень эффективности и предсказуемости процессов. Современные технологии идентификации брёвен имеют множество преимуществ для работы с открытым мировым рынком, что незаслуженно недооценивается. В отличие от организации труда на заводах, где индивидуальный подход к каждому бревну отсутствует, сегодня уже могут использоваться мощные алгоритмы типа сканирования и сопоставления. С каждым древесным стволом можно работать с учётом его уникальных свойств и физических параметров.

В настоящее время можно уверенно сказать, что сквозной контроль на основе технологии «отпечатка» древесины (wood fingerprint) станет обычной практикой на «умных» лесопильных заводах. При этом по мере развития технологий и усовершенствования нейросетевых алгоритмов, доступность этой технологии будет расти, а требования к оборудованию упрощаться.

Список литературы

1. Николаев, А.И. Особенности функционирования автоматизированной системы учёта заготовленной древесины и контроля её происхождения / А.И. Николаев, А.В. Стариков, К.В. Батулин // Лесотехнический журнал. –2016. – №3. –С. 109-117.–DOI: 12737/21687.

2. Uusijärvi, R. Integrating quality information with production data in sawmilling / R. Uusijärvi // Proc. of ScanTech. – 2003. – Vol. 03.
3. Chikkerur, S. K-plet and coupled BFS: A graph based fingerprint representation and matching algorithm / S. Chikkerur, A. Cartwright, V. Govindaraju // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). –2006. –P. 309-315.
4. Рентгеновские сканеры FINNOS– революция в лесопильной отрасли / Журнал «ЛПК Сибири». –URL: <https://lpk-sibiri.ru/equipment/sawmill-equipment/rentgenovskie-skanery-finnos>(дата обращения: 19.03.2025)
5. Кармакова, М. Эра рентгена: рентгеновские сканеры древесины / М. Кармакова // Лесной комплекс. – 2022. – №2 (54). – С. 46-51. –URL: https://forestcomplex.ru/wp-content/uploads/Issue/ForestComplex2022_2.pdf(дата обращения: 19.03.2025).
6. ГОСТ 32594-2013 Лесоматериалы круглые. Методы измерений.– М.: Стандартиформ, 2015. – 36 с.
7. Automatic Wood Species Classification and Pith Detection in Log CT Images/ O. Vacek, T. Gergel, T. Bucha[et al.] // Forests. –2024. – Vol. 15. – С. 2207. – DOI:10.3390/f15122207.
8. Deep High-Resolution Representation Learning for Visual Recognition / J. Wang, K. Sun, T. Cheng [et. al.] // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. –2021. – Vol. 43. – Pp. 3349-3364.
9. Towards the applicability of biometric wood log traceability using digital log end images / R. Schraml, J. Charwat-Pessler, A. Petutschnigg, A. Uhl // Computers and Electronics in Agriculture. – 2015. –Vol. 119. – Pp. 112-122.
10. Pahlberg, T. Wood Fingerprints: Recognition of Sawn Wood Products / T. Pahlberg // Thesis. – Luleå University of Technology, 2014. – 89 p. – DOI:10.13140/2.1.2479.4407.
11. Алгоритм сравнения отпечатков пальцев: комбинация классических алгоритмов. – URL: <https://habr.com/ru/companies/samsung/articles/642579/> (дата обращения: 19.03.2025).
12. Heikkinen, J. Finnos Presentation X-Ray & AI-reinforced sawmill – Sawmill of 2020's / J. Heikkinen // 25/11/2020 – CIFQ – Conseil de l'industrie forestière du Québec. –URL: [https://cifq.com/documents /file/lecture-de-billes-pour-optimisation-mesurage-et-classification-par-ct-scan-x-ray-f-giguere-prologic-j-heikkinen-finnos.pdf](https://cifq.com/documents/file/lecture-de-billes-pour-optimisation-mesurage-et-classification-par-ct-scan-x-ray-f-giguere-prologic-j-heikkinen-finnos.pdf) (дата обращения: 19.03.2025)

References

1. Nikolaev, A.I. Features of the functioning of an automated accounting system for harvested wood and control of its origin / A.I. Nikolaev, A.V. Starikov, K.V. Baturin // Forestry journal. – 2016. – №3. – Pp. 109-117. – DOI: 12737/21687.
2. Uusijärvi, R. Integrating quality information with production data in sawmilling / R. Uusijärvi // Proc. of ScanTech. – 2003. – Vol. 03.
3. Chikkerur, S. K-plet and coupled BFS: A graph based fingerprint representation and matching algorithm / S. Chikkerur, A. Cartwright, V. Govindaraju // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2006. – P. 309-315.
4. FINNOS X-ray scanners - a revolution in the sawmill industry / LPK Siberia magazine. - URL: <https://lpk-sibiri.ru/equipment/sawmill-equipment/rentgenovskie-skanery-finnos> (accessed: 19.03.2025).
5. Karmakova, M. The era of X-ray: X-ray scanners of wood / M. Karmakova // Forest complex. – 2022. – №2 (54). – Pp. 46-51. – URL: https://forestcomplex.ru/wp-content/uploads/Issue/ForestComplex2022_2.pdf (accessed: 03/19/2025).
6. GOST 32594-2013 Round timber. Measurement methods. –Moscow : Standartinform, 2015.– 36 p .
7. Automatic Wood Species Classification and Pith Detection in Log CT Images / O. Vacek, T. Gergel, T. Bucha [et al.] // Forests. – 2024. – Vol. 15. – C. 2207. – DOI: 10.3390/f15122207.
8. Deep High-Resolution Representation Learning for Visual Recognition / J. Wang, K. Sun, T. Cheng [et. al.] // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. – 2021. – Vol. 43. – Pp. 3349-3364.
9. Towards the applicability of biometric wood log traceability using digital log end images / R. Schraml, J. Charwat-Pessler, A. Petutschnigg, A. Uhl // Computers and Electronics in Agriculture. - 2015. - Vol. 119. - Pp. 112-122.
10. Pahlberg, T. Wood Fingerprints: Recognition of Sawn Wood Products / T. Pahlberg // Thesis. - Luleå University of Technology, 2014. - 89 p. - DOI:10.13140/2.1.2479.4407.
11. Fingerprint comparison algorithm: a combination of classical algorithms. - URL: <https://habr.com/ru/companies/samsung/articles/642579/> (accessed: 19.03.2025).

12. Heikkinen, J. Finnos Presentation X-Ray & AI-reinforced sawmill – Sawmill of 2020s / J. Heikkinen // 25/11/2020 - CIFQ - Conseil de l'industrie forestière du Québec. - URL: [https://cifq.com/documents /file/lecture-de-billes-pour-optimisation-mesurage-et-classification-par-ct-scan-x-ray-f-giguere-prologic-j-heikkinen-finnos.pdf](https://cifq.com/documents/file/lecture-de-billes-pour-optimisation-mesurage-et-classification-par-ct-scan-x-ray-f-giguere-prologic-j-heikkinen-finnos.pdf) (accessed: 19.03.2025).

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОИЗВОДСТВОМ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ
DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM
FOR THE PRODUCTION OF ASPHALT CONCRETE MIXTURE**

Мещеряков С.Ю., студент

Мещерякова А.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Россия

Meshcheryakov S.Yu., student

Meshcheryakova A.A., CSc (Engineering), Associate Professor
FSBEI HE « Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov»,
Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматривается актуальная проблема модернизации технологического оборудования и автоматизированных систем управления производством асфальтобетонной смеси.

Summary: The article examines the current problem of modernization of technological equipment and automated control systems for the production of asphalt concrete mixture.

Ключевые слова: автоматизация, асфальтобетонная смесь, системы автоматизации, интеллектуальные системы, машинное обучение.

Keywords: automation, asphalt concrete mix, automation systems, intelligent systems.

В настоящее время Россия занимает неутешительное первое место в мире по уровню смертности в дорожно-транспортных происшествиях. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодно в авариях погибает около 27 тысяч человек, что в 2-3 раза превышает аналогичные показатели в странах Европы и Северной Америки. Основной причиной этой трагической статистики эксперты называют катастрофическое состояние дорожной инфра-

структуры. Федеральные трассы, региональные магистрали и местные дороги, изношенные на 40–70%, становятся смертельными ловушками для водителей. Из 46 тысяч километров федеральных автодорог 30 тысяч требуют не просто ремонта, а полной реконструкции: ямы, трещины, отсутствие разметки и барьерных ограждений превращают движение в русскую рулетку. Особенно опасны участки с временным покрытием, где риск аварий возрастает в 5 раз по сравнению с отремонтированными дорогами [1, 2].

Проблема усугубляется изоляцией малых населенных пунктов. Сегодня 37 тысяч сел и деревень, где проживает около 17 миллионов человек (10% населения страны), остаются «отрезанными от цивилизации» из-за отсутствия дорог с твердым покрытием. В условиях дождей и снегопадов эти территории превращаются в острова, недоступные для скорой помощи, пожарных машин и грузовиков с продовольствием. Это не только вопрос безопасности, но и выживания: по данным Минтранса, в отдаленных районах смертность от несвоевременной медицинской помощи на 30% выше, чем в регионах с развитой дорожной сетью.

Даже эксплуатируемые дороги в России служат в 2–2,5 раза меньше, чем в странах с аналогичными климатическими условиями, таких как Канада или Норвегия. Например, срок службы асфальтобетонного покрытия в российских условиях редко превышает 8–10 лет, тогда как в Скандинавии он достигает 20–25 лет [3]. Причина – низкое качество материалов, отсутствие учета климатических факторов при проектировании и хроническое недофинансирование ремонта. Ученые НИИ дорожного хозяйства указывают, что до 40% проблем связаны с нарушениями технологии производства асфальтобетонной смеси: использование дешевых вяжущих, неконтролируемое соотношение компонентов и ручное управление процессами на заводах.

Анализ состояния дорожной сети выявляет системный кризис. Протяженность дорог с твердым покрытием в России (50,7% от потребности) уступает не только развитым, но и многим развивающимся странам. Для сравнения: в Бразилии этот показатель составляет 65%, а в Китае – 90%. Дефицит качественных трасс тормозит экономику: по оценкам ВШЭ, ежегодные потери бизнеса из-за транспортной недоступности превышают 2% ВВП. Особенно остро проблема стоит в Арктике и Сибири, где дороги являются единственным связующим звеном с месторождениями полезных ископаемых.

Для преодоления кризиса требуется масштабная модернизация. По расчетам Минстроя, до 2035 года необходимо построить и реконструировать 800 ты-

сяч км дорог, включая 120 тысяч км федеральных трасс. Однако традиционные методы строительства не способны обеспечить рывок. Ключевым решением может стать автоматизация производства асфальтобетона, которая повысит точность дозирования компонентов, оптимизирует температурные режимы и снизит влияние человеческого фактора. Сегодня, однако, отрасль находится в технологическом вакууме: 90% российских асфальтобетонных заводов управляются устаревшими системами 1980-х годов, а современные алгоритмы машинного обучения и нейросети практически не применяются.

Таким образом, создание интеллектуальных систем управления производством асфальтобетона – это не просто отраслевая задача, а национальный приоритет. Решение потребует синтеза усилий инженеров, IT-специалистов и государственных структур. Успех проекта может стать основой для технологического суверенитета в дорожном строительстве, снизить смертность на трассах и интегрировать в экономику десятки тысяч изолированных территорий. Альтернатива очевидна: без модернизации Россия рискует остаться «страной без дорог» в эпоху глобальной цифровой трансформации.

Рассмотрим алгоритм получения асфальтобетонной смеси на рисунке 1.

Алгоритм начинается с дозирования сыпучих веществ (щебня, песка, минерального порошка) в определенной пропорции, согласно разработанной рецептуре и необходимого качества асфальтобетонной смеси. Для получения однородной смеси сухие вещества в барабане нагревают до 160-200 °С. В качестве вяжущего вещества используется нагретый до 150-180 °С битум (асфальтобетон). Использование битума позволяет получить асфальтобетонную смесь схватывающуюся в течении 4 часов, полная прочность достигается на 3-7 день после укладки. Все вещества перемешиваются в течении 30-60 секунд. Конечная температура асфальтобетонной смеси не должна быть ниже 140 °С. Полученную смесь проверяют на однородность и содержание битума. Далее производится выгрузка асфальтобетонной смеси.

Система управления производством асфальтобетонной смеси представлена на рисунке 2 имеет иерархическую систему управления с четким разделением функций.

Верхний уровень системы управления производством асфальтобетонной смеси предназначен для мониторинга и анализа данных, средний уровень представлен контроллерами и необходим для управления процессами получения асфальтобетонной смеси. На нижнем уровне показан исполнительный механизм и датчики контроля веса, размера фракции веществ добавляемых в смесь,

интенсивности и времени перемешивания асфальтобетонной смеси, регулирования температуры в барабане.

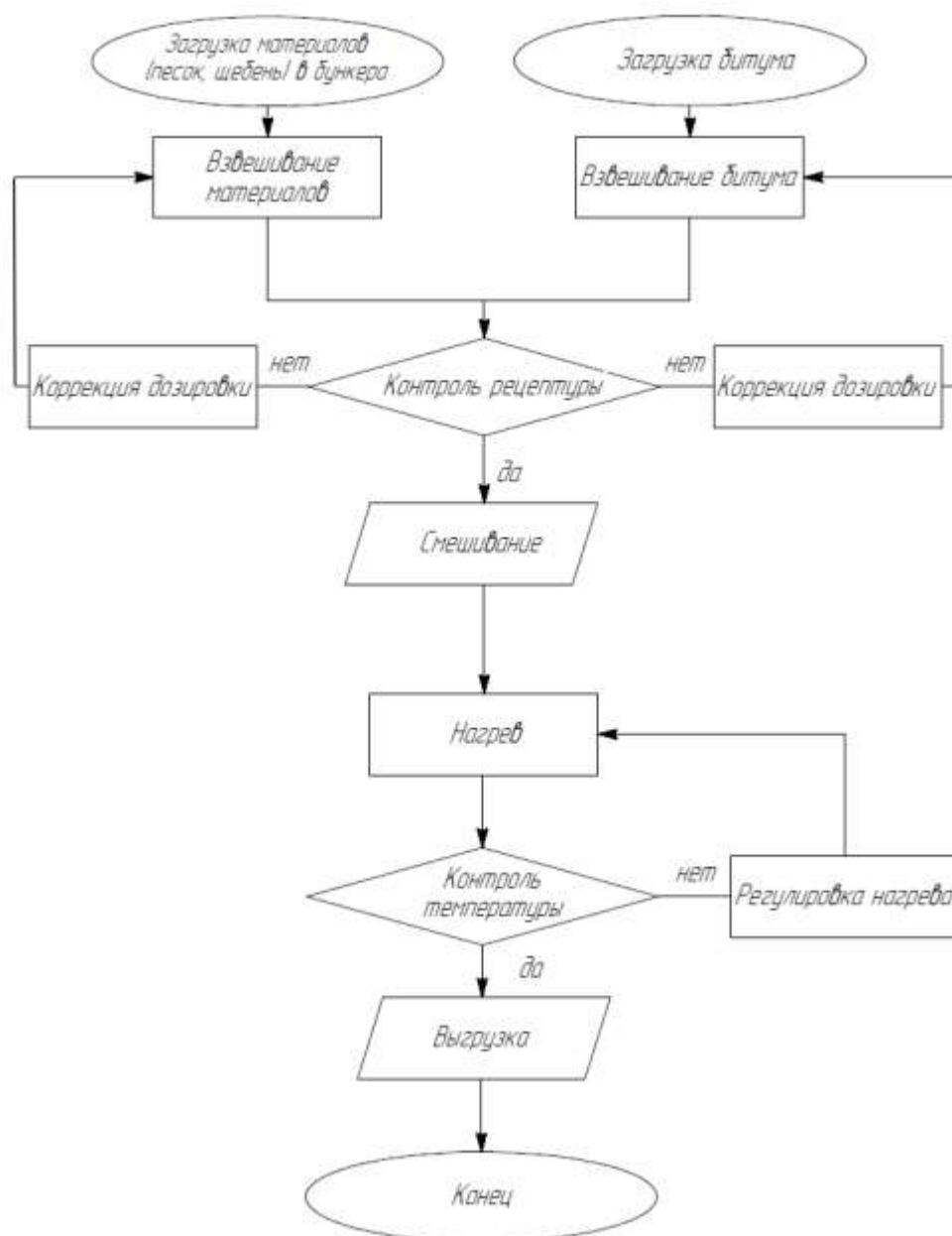


Рисунок 1 – Алгоритм получения асфальтобетонной смеси

Существующие производства асфальтобетонной смеси имеют ряд недостатков. Дозирование компонентов смеси часто происходит вручную или с нарушениями, не всегда вовремя производят ремонт весов, что приводит к получению асфальтобетонной смеси плохого качества. При дроблении не соблюдается заданная фракция, что также влияет на качество смеси. В процессе сушки и дальнейшего смешивания компонентов не выдерживается заданное время и температурный режим, что влияет на производительность и прочность асфальтобетонной смеси.

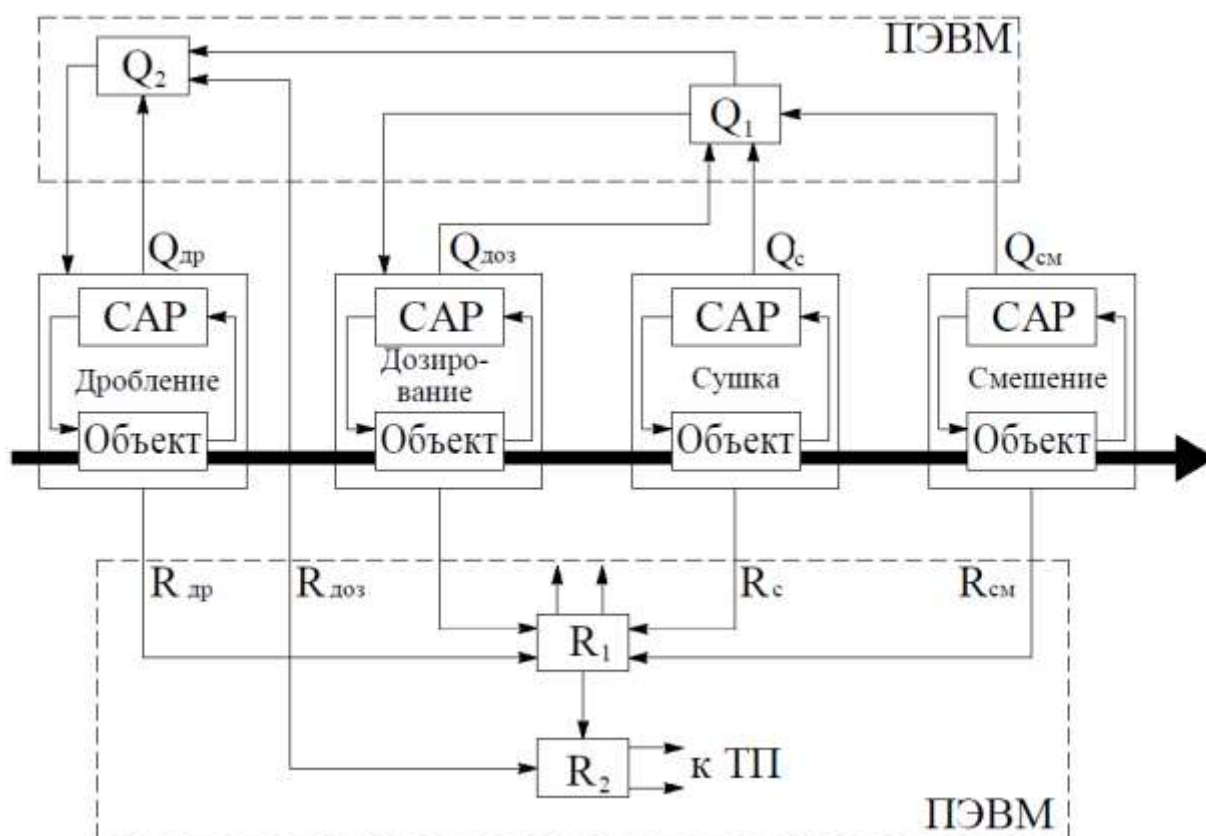


Рисунок 2 – Алгоритм получения асфальтобетонной смеси

На производстве смесители часто выходят из строя, что влечет получение неоднородной асфальтобетонной смеси. Все вышеперечисленные недостатки можно ликвидировать и повысить надежность производства за счет внедрения дополнительных датчиков и цифровых технологий в производство асфальтобетонной смеси. Предлагаемая структурная схема производства асфальтобетонной смеси представлена на рисунке 3.

По структурной схеме производство начинается с контроля поставляемого сырья. В соответствии с полученным сырьем производится корректировка расчета рецептуры. При получении партии смеси постоянно производится испытание образцов на качество и на схватывание смеси. По результатам испытания вносят корректировку в рецептуру смеси.

Введен контроль отпускаемого качества асфальтобетонной смеси, что позволяет получить однородную смесь с заданными свойствами без увеличения расхода материала на ее изготовление. Введение тензометрических весоизмерительных датчиков контролирующих расход веществ и битума, позволит оптимизировать рецептуру асфальтобетонной смеси, а также контролировать расход битума автоматизированно, в зависимости от исходных минеральных частиц. Таким образом, внедрение тензометрических весоизмерительных датчиков и программно-технического комплекса позволит минимизировать влияние

человеческого фактора и повысить качество выпускаемой асфальтобетонной смеси.

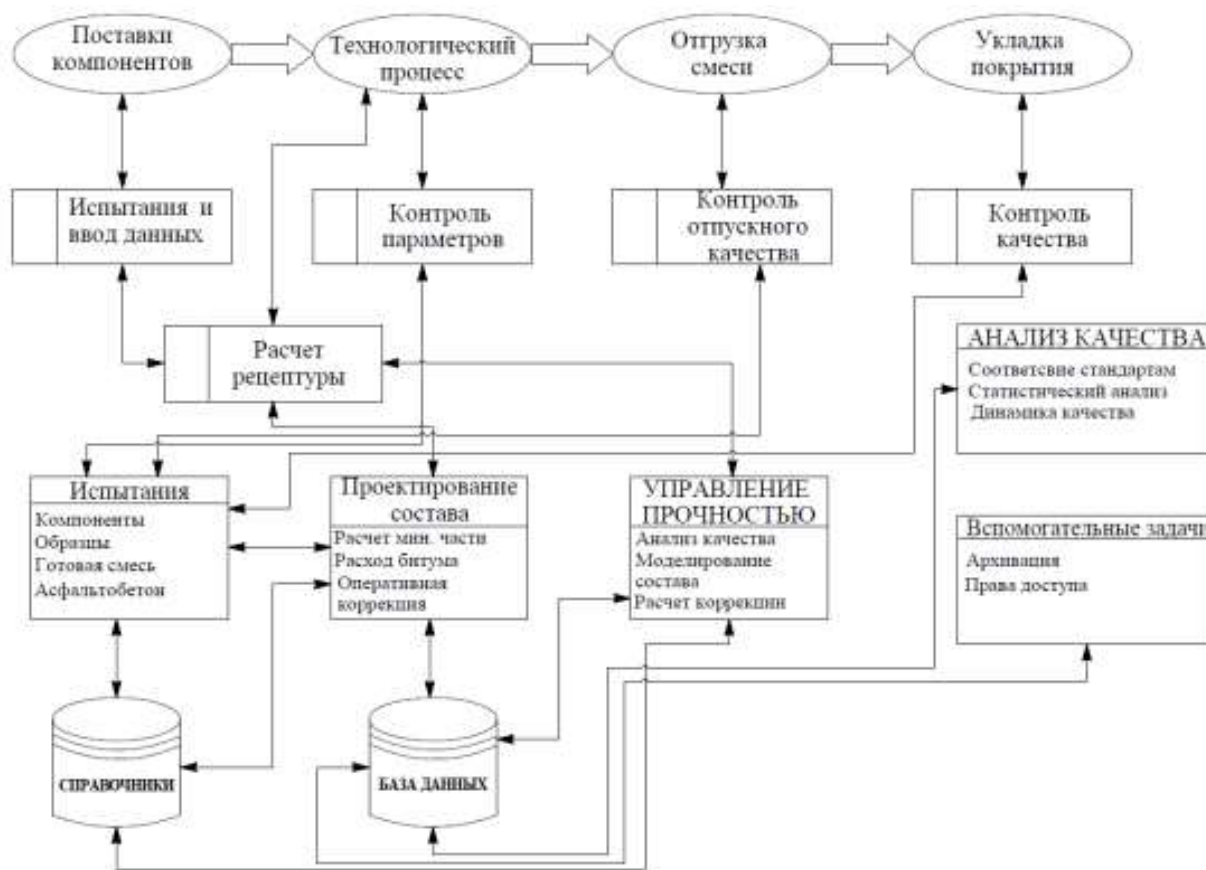


Рисунок 3 – Структурная схема производства асфальтобетонной смеси

Список литературы

1. Система контроля и управления процессом производства асфальтобетонной смеси. – URL: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/48225/1/Konovalchuk_Sistema.pdf (дата обращения: 24.03.2025).
2. Управление качеством АБЗ. – URL: https://studref.com/487730/stroitelstvo/upravlenie_kachestvom (дата обращения: 24.03.2025).
3. Приготовление асфальтобетонной смеси. – URL: https://www.rus-m.com/news/building/prigotovlenie_asfaltobetonnoy_smesi/ (дата обращения: 24.03.2025).

References

1. Asphalt concrete mix production process control and management system. – URL: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/48225/1/Konovalchuk_Sistema.pdf (access date: 24.03.2025).
2. Asphalt concrete plant quality management. – URL: https://studref.com/487730/stroitelstvo/upravlenie_kachestvom (access date: 24.03.2025).
3. Asphalt concrete mix preparation. – URL: https://www.rus-m.com/news/building/prigotovlenie_asfaltobetonnoy_smesi/ (access date: 24.03.2025).

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПИЛОВОЧНОГО СЫРЬЯ МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ
ТИПАМИ ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕСОПИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА
DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMIZING
THE DISTRIBUTION OF SAWN RAW MATERIALS BETWEEN
DIFFERENT TYPES OF SAWMILL EQUIPMENT**

Мещерякова А.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Россия

Meshcheryakova A.A., CSc (Engineering), Associate Professor
FSBEI HE « Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov»,
Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматривается задача оптимизации распределения пиловочного сырья между различными типами оборудования лесопильного производства. Разработана математическая модель, позволяющая максимизировать объемный выход пиломатериалов при минимизации производственных затрат и потерь древесины. Модель учитывает технические характеристики оборудования, физические свойства сырья и требования заказчиков к конечной продукции.

Summary: The article considers the problem of optimizing the distribution of sawn timber between different types of sawmill equipment. A mathematical model has been developed that allows maximizing the volumetric output of sawn timber while minimizing production costs and wood losses. The model takes into account the technical characteristics of the equipment, the physical properties of the raw material, and customer requirements for the final product.

Ключевые слова: системы управления, лесопильное оборудование, экономическая эффективность, математическая модель.

Keywords: control systems, sawmill equipment, economic efficiency, mathematical model.

Леспромхозы традиционно отгружают несортированный пиловочник по единой цене за кубический метр. При этом лесопильные предприятия оценивают эффективность сырья в целом, не разделяя его на размерные группы. Однако такая практика может скрывать важные аспекты: низкая или даже отрицательная эффективность переработки мелкого сырья может компенсироваться высокой эффективностью работы с крупным сырьем [1-3].

Эффективность распиловки нельзя рассматривать изолированно для каждого вида оборудования. Увеличение доли сырья одного размера, обрабатываемого на конкретном оборудовании, автоматически снижает загрузку других станков. Это создает дисбаланс в работе производства и влияет на общую экономическую эффективность.

Введение дифференцированной цены на пиловочник в зависимости от размерных групп могло бы способствовать более рациональному использованию сырья. Такой подход позволил бы перерабатывать древесину, ориентируясь на ее характеристики, а не на ограничения применяемого оборудования [4].

Рассмотрим математическую модель оптимизации распределения пиловочного сырья между различными типами оборудования для достижения максимальной экономической эффективности лесопильного производства. Математическая модель включает следующие показатели: размерные группы сырья (диаметр бревен), характеристики оборудования (производительность, стоимость, срок службы), выход пиломатериалов при распиловке, доли сырья в каждой размерной группе.

Пиловочное сырье делится на n размерных групп ($i = 1, \dots, n$), где каждая группа характеризуется диаметром бревен и долей в общем объеме сырья. Доля сырья в каждой группе обозначается как d_i , причем должно выполняться условие:

$$\sum_{i=1}^n d_i = 1. \quad (1)$$

Рассматриваются m типов оборудования ($j = 1, \dots, m$). Каждый тип оборудования характеризуется: годовой производительностью Π_{ij} (куб. м/год) для сырья из группы i и выходом пиломатериалов r_{ij} (в процентах от объема сырья).

Обозначим x_{ij} – долю сырья из группы i , распиливаемого на оборудовании типа j . Переменные x_{ij} должны удовлетворять следующему условию $\sum_{j=1}^m x_{ij} = d_i, \quad \forall i = 1, \dots, n$.

Эквивалентный аннуитет EA_j для оборудования типа j рассчитывается по формуле (2):

$$EA_j = I_0 \cdot \frac{k \cdot (1+k)^T}{(1+k)^T - 1} + CF \quad (2)$$

где I_0 – капитальные затраты на оборудование (тыс. руб.),

k – ставка дисконтирования,

T – срок службы оборудования (лет),

CF – эксплуатационные затраты (тыс. руб./год).

Целевая функция максимизирует экономический эффект от использования сырья. Экономический эффект рассчитывается как разница между доходами от продажи пиломатериалов и затратами на оборудование:

$$\Theta = \sum_{j=1}^m \left[\sum_{i=1}^n \Pi_{ij} K_{ij} r_{ij} P_{\text{ПМ}} - EA_j \cdot \sum_{i=1}^n K_{ij} \right], \quad (3)$$

где $P_{\text{ПМ}}$ – цена пиломатериалов (руб./куб. м),

EA_j – эквивалентный аннуитет для оборудования типа j (тыс. руб./год).

K_{ij} – количество времени работы оборудования ij при распиловке сырья из группы i по формуле (16), лет,

$$K_{ij} = Q \cdot d_i \cdot x_{ij} / \Pi_{ij}, \quad (4)$$

$P_{\text{ПМ}}$ – стоимость 1 м³ пиломатериалов, тыс. руб.;

$P_{\text{ПЛ}}$ – стоимость 1 куб. м пиловочника, тыс. руб.;

Q – объём партии сырья, м³.

Распределение сырья: Для каждой размерной группы i суммарная доля сырья, распиливаемого на всех типах оборудования, должна быть равна доле этой группы в общем объеме сырья: $\sum_{j=1}^m x_{ij} = d_i, \quad \forall i = 1, \dots, n$.

Неотрицательность переменных: Все переменные x_{ij} должны быть неотрицательными: $x_{ij} \geq 0, \quad \forall i = 1, \dots, n, \quad \forall j = 1, \dots, m$.

Производственные ограничения: объем сырья, распиливаемого на каждом типе оборудования, не должен превышать его годовую производительность: $\sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot Q \leq \Pi_{ij}, \quad \forall j = 1, \dots, m$.

Таким образом, различные размерные группы сырья имеют разную ценность при распиловке и должны отличаться по цене. Оптимальное распределение сырья между оборудованием позволяет минимизировать затраты и максимизировать экономический эффект. Дифференцированные цены на сырье могут

быть установлены на основе решения двойственной задачи линейного программирования.

Рассмотрим пример. Надо распилить 100000 м^3 пиловочника ($Q = 100000$). Распределение по 4 размерным группам приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение пиловочника по размерным группам

Диаметр, см	Доля, %
16	20
22	50
28	20
32	10
Всего	100

Сравним распиловку бревен на трех станках разной производительности - агрегатная линия, круглопильный станок, ленточнопильный станок.

Таблица 2– Параметры оборудования

Параметр	Оборудование номер		
	1	2	3
Цена, тыс. руб.	4600	4200	4500
CF	7500	6500	6000
Срок службы, лет	10	10	10
ЕА при $k=0,10$	7094	6178	5790

Объемный выход пиломатериалов из каждого сорта пиловочника в зависимости от вида оборудования приведен в таблице 3, а производительность оборудования – в таблице 4. Из таблиц 3 и 4 показывают, что добиться высокого объемного выхода при распиловке бревен среднего и крупного диаметров на оборудовании 1 невозможно, хотя данное оборудование имеет высокую производительность. Зато оборудование 3, при невысокой производительности распиливает бревна среднего и крупного диаметра, и вырабатывает большой объемный выход пиломатериалов.

Таблица 3 – Выход пиломатериалов

Размерная группа сырья номер	Выход пиломатериалов (%) на оборудовании номер		
	1	2	3
1	44	44	44
2	48	49	50
3	48	51	58
4	45	55	65

Таблица 4 –Производительность оборудования в год

Размерная группа номер	Производительность на оборудовании номер, м ³ в год		
	1	2	3
1	60000	40000	19000
2	65000	45000	22000
3	66000	48000	24000
4	64000	50000	26000

Решение основной задачи при приведенных ранее ограничениях имеет следующий вид (таблица 5).

Таблица 5 – Распределение сырья по видам оборудования

Размерная группа сырья	Распределение сырья по видам оборудования		
	1	2	3
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	0	0	1

Анализируя данные таблицы 5, видим, что сырье размерной группы 1 рекомендуется пилить на оборудовании 1, сырье размерной группы 2 рекомендуется пилить на оборудовании 2, а сырье размерной группы 3 и 4 рекомендуется пилить на оборудовании 3.

Решение двойственной задачи (стоимость сырья) приведено в таблице 6.

Таблица 6 – Стоимость сырья

Размерная группа, см	Объем сырья, м ³	Стоимость объема сырья, тыс. руб.	Цена 1 м ³ сырья размерной группы, тыс. руб.
16	20000	24035	1,20
22	50000	66635	1,33
28	20000	29975	1,50
32	10000	17273	1,73

Средневзвешенная цена пиловочника равна 1,38 тыс. руб. за м³. Но при этом малое предприятие, имеющее только один вид оборудования, будет покупать пиловочник только тех размерных групп, переработка которых будет эффективной на этом оборудовании. Принятие такого решения обеспечат дифференцированные цены. Покупая несортированное сырьё по единой цене, такое

предприятие неизбежно будет использовать неэффективные варианты переработки, нанося ущерб себе и народному хозяйству в целом.

Таким образом, бревна различного диаметра при распиловке имеют разный выход, а соответственно и цена на бревна будет разной. Это также зависит и от качества бревен. Из сырья первого сорта, с небольшим сбегом, имеющим округлую форму, можно получить более качественные пиломатериалы, поэтому цена на такие бревна будет высокой. Но отказываться пилить низкокачественные бревна нельзя, так как сырьевая база с каждым годом уменьшается, а потребность в пиломатериалах возрастает. При определении целевой принадлежности бревен, необходимо сразу решить, что более выгодно произвести из него. Если распиловка на пиломатериалы не целесообразна (малый объемный выход пиломатериалов, не качественные пиломатериалы), то бревна необходимо направлять на производство целлюлозы, химическую переработку.

Список литературы

1. Обоснование необходимости внедрения процессов комплексного использования древесины на лесопильных предприятиях / А.А. Тамби, С.А. Угрюмов, А.Р. Бирман [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2020.–№ 2 (46). – С. 47–54.
2. Технологическое проектирование лесопильных цехов: учебное пособие с грифом УМО / В.С. Болдырев, Ю.А. Чевычелов, А.И. Цуриков [и др.]. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 250403 – "Технология деревообработки" / (2–е изд. перераб. и доп.) М–во образования и науки РФ, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2012. – С. 264.
3. Калитеевский, Р. Е. Теория и организация лесопиления / Р. Е. Калитеевский – М.: «Экология», 1995. – 352 с.
4. Мещерякова, А.А. Исследование автоматизированной системы управления лесопильным оборудованием / А.А. Мещерякова, А.А. Грибанов // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : материалы международной научно–практической конференции. –Воронеж, 2024. – С. 225–228.

References

1. Justification of the need to introduce processes of integrated use of wood at sawmills / A.A. Tambi, S.A. Ugryumov, A.R. Birman [et al.] // Systems. Methods. Technologies. –2020. No. 2 (46). - P. 47-54.

2. Technological design of sawmills: a textbook with the UMO stamp / V.S. Boldyrev, Yu.A. Chevychelov, A.I. Tsurikov [and others]. A textbook for students of higher educational institutions studying in the specialty 250403 - "Woodworking Technology" / (2nd ed., revised and supplemented) Ministry of Education and Science of the Russian Federation, State Educational Institution of Higher Professional Education "VGFLTA". - Voronezh, 2012. - P. 264.

3. Kaliteevsky, R.E. Theory and organization of sawmilling / R.E. Kaliteevsky - M.: "Ecology", 1995. - 352 p.

4. Meshcheryakova, A.A. Research of automated control system of sawmill equipment / A.A. Meshcheryakova, A.A. Gribanov // In the collection: Energy efficiency and energy saving in modern production and society : materials of the international scientific and practical conference. - Voronezh, 2024. - P. 225-228.

**REAL-TIME ОБРАБОТКА ВИДЕО: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
АРХИТЕКТУР YOLO и SSD**

**REAL-TIME VIDEO PROCESSING: COMPARATIVE ANALYSIS
OF YOLO AND SSD ARCHITECTURES**

Михайлов А.М., студент

Евдокимова С.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

tg3381234@gmail.com

Mikhailov A. M., student

Evdokimova S.A., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: С развитием нейронных сетей появилась потребность в real-time детекции. В данных задачах важны точность и скорость. В статье приводится сравнительный анализ YOLO и SSD - двух ключевых архитектур, которые активно применяются в настоящее время.

Summary: With the development of neural networks, there is a need for real-time detection. In these tasks, accuracy and speed are important. This article provides a comparative analysis of YOLO and SSD - two key architectures that are actively used today.

Ключевые слова: real-time, YOLO, SSD, однопроводные детекторы, машинное обучение, компьютерное зрение.

Keywords: real time, YOLO, SSD, single pass detectors, machine learning, computer vision.

С развитием нейросетей появилась потребность в распознавании объектов в реальном времени, так как уже не для всех задач достаточно определить детекцию на статическом изображении. Детекция в потоке уже решает многие

проблемы в видеонаблюдении, в автономных автомобилях, анализе трафика, AR/VR и в спортивной аналитике[1, 2]. Зачастую в этих задачах используются две наиболее популярные архитектуры – YOLO (You Only Look Once) и SSD. Проведем сравнительный анализ этих двух архитектур, рассмотрим, как они работают, и в чем заключаются их ключевые различия.

До появления таких современных решений как YOLO, SSD существовали классические (двухэтапные) методы вроде Faster R-CNN, но они были слишком медленные и поэтому на смену к ним пришли одноэтапные детекторы[3, 4]. Поэтому в этой статье мы не будем затрагивать классические методы.

YOLO – является одной из самых популярных детекций в реальном времени на сегодняшний день. За 10 лет архитектура прошла путь от простой CNN модели до anchor-free и transformer-гибридных моделей [5-9]. Это семейство однопроходных (one-stage) детекторов объектов, которые предсказывают классы объектов и bounding box'ы за один проход. Так как YOLO не использует отдельные модули для генерации регионов (region proposals), то он значительно быстрее двухэтапных детекторов.

Архитектура нейронной сети алгоритма YOLO состоит из 24 сверточных слоев и двух полносвязных слоя в конце [5-7]. На вход подается изображение 448×448, которое разбивается на одинаковые квадратные ячейки 64×64, образуя таблицу 7×7. В дальнейшем все операции происходят с этими ячейками (рисунок 1).

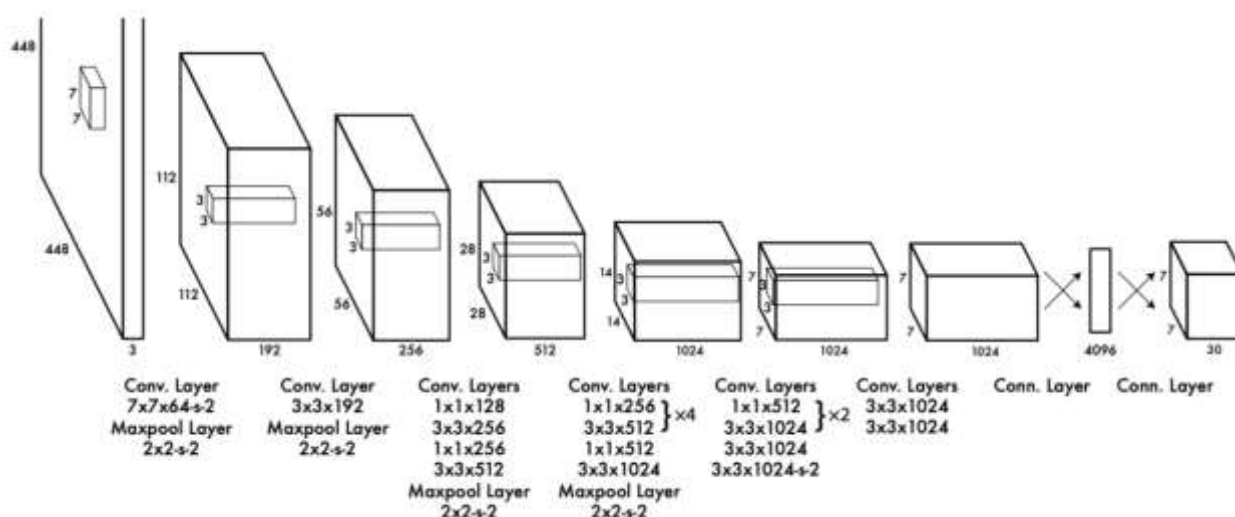


Рисунок 1 – Архитектура YOLO

Координаты ограничивающей рамки (bounding box) изображения определяются по формулам [6]:

$$b_x = \sigma(t_x) + c_x ;$$

$$b_y = \sigma(t_y) + c_y;$$

где b_x, b_y – координаты центра предсказанного bounding box,

t_x, t_y – предсказанные нейросетью смещения,

σ – сигмоида (чтобы ограничить значение в пределах ячейки),

c_x, c_y – координаты левого верхнего угла grid-ячейки.

$$b_w = p_w + e^{t_w};$$

$$b_h = p_h + e^{t_h}$$

где b_w, b_h – ширина и высота bbox (относительно анкера),

p_w, p_h – ширина и высота анкера (anchor box),

t_w, t_h – предсказанные нейросетью коэффициенты масштабирования.

Из плюсов YOLO можно выделить:

- очень высокая скорость (от 45 FPS на GPU);
- простота развёртывания (ONNX, TensorRT).

Минусы:

- хуже работает с мелкими объектами.

SSD – Single Shot MultiBox Detector – также является однопроходным (one stage) детектором, был представлен в 2016 году, не требует генерации RoI[10]. SSD использует предобученные модели, такие как VGG-16 или ResNet и добавляет дополнительные сверточные сети на выходе. На рисунке 2 можно заметить, что чем дальше мы продвигаемся по слоям, тем более крупные объекты мы можем редактировать.

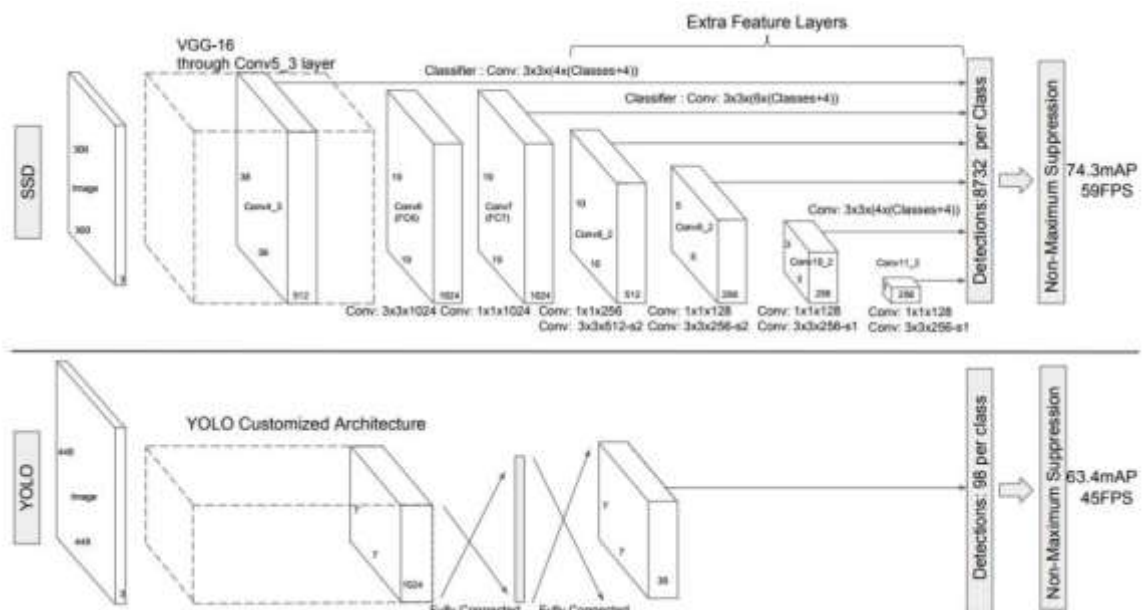


Рисунок 2 – Архитектура SSD

У SSD proposal фиксированы для всех возможных вариантов, что значительно ускоряет модель. На рисунке 3 видим, что feature map разбивается на 8×8 и в каждой ячейке мы ставим 6 анкоров. В отличие от YOLO мы предсказываем поправки на сколько нам нужно передвинуть центр объекта и изменить его ширину и длину.

Таким образом, смещение координат проходят по формуле [10]:

$$\hat{g}_x = (g_x - d_x) / d_w;$$

$$\hat{g}_y = (g_y - d_y) / d_h;$$

где g_x, g_y – координаты центра истинного bbox (ground truth);

d_x, d_y – координаты центра anchor box;

d_w, d_h – ширина и высота anchor box.

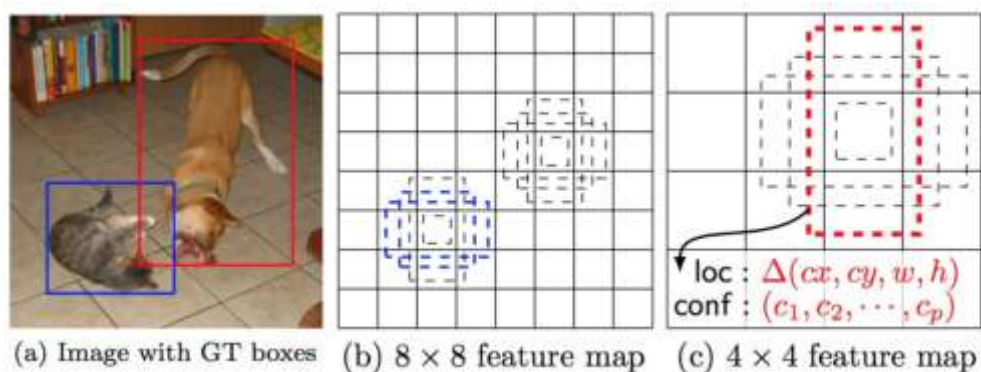


Рисунок 3 – Принципы работы SSD

Для начала обозначим проблемы, которые возникают при real-time детекции, так как именно решения этих проблем являются особенностью каждой архитектуры.

Главные требования к алгоритмам обработки видео:

- высокая FPS-скорость (≥ 30 кадров/сек для плавного потока);
- баланс между точностью и быстродействием;
- поддержка edge-устройств (телефоны, камеры, дроны).

Именно по этим показателям будем оценивать наши модели. После исследования скорости и точности двух моделей на минутном видео получили следующие результаты (таблица 1).

Также были проведены исследования с разными моделями YOLO по ключевым характеристикам – скорость и точность (рисунок 4).

Полученные данные показывают, что YOLO является более быстрой моделью, хоть и не такой точной как SSD. Однако, учитывая, что в real-time си-

стемах, скорость важнее точности, эту архитектуру больше используют и внедряют в боевые проекты.

Таблица 1 – Результаты сравнения SSDи YOLO

	SSD	YOLO (v8)
Тип детектора	Однопроходный (one-stage)	Однопроходный (one-stage)
Backbone	VGG-16 / ResNet	CSPDarknet / EfficientNet
Anchor Boxes	Фиксированные (default boxes)	Anchor-free (в YOLOv8)
Multi-scale	Feature maps разных уровней	FPN / PANet
Скорость (FPS)	20-60 (на GPU)	50-200 (на GPU)
Точность (mAP@0.5)	70-80 (COCO)	60-75 (COCO)
Оптимизация	Устаревшая (2016)	Поддержка TensorRT, OpenVINO

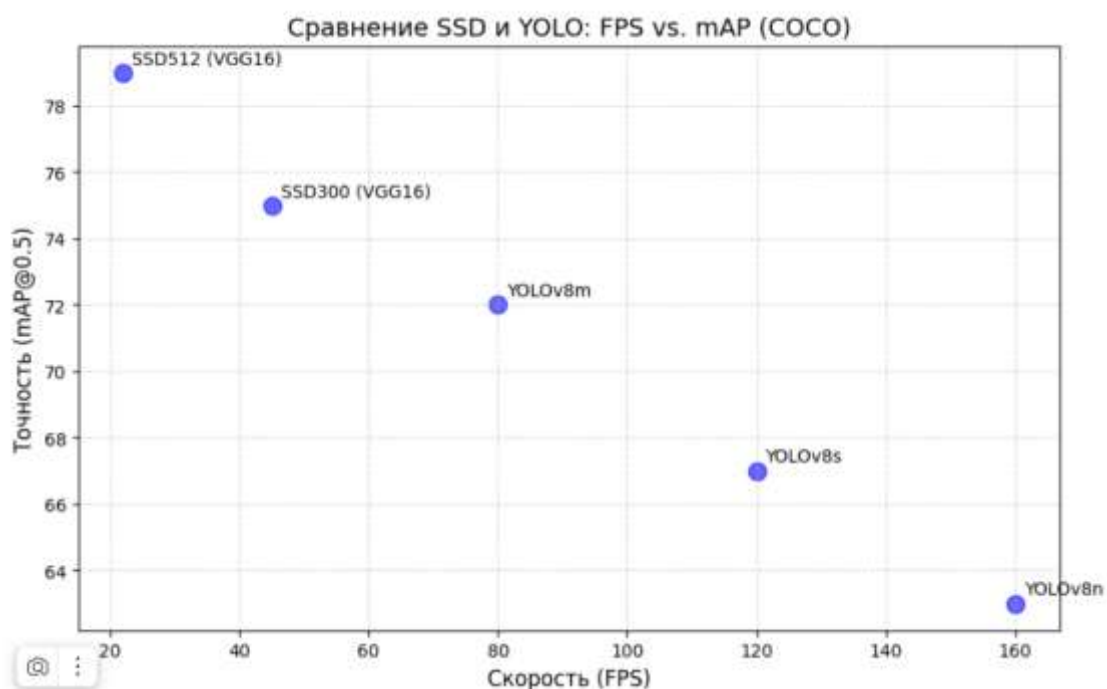


Рисунок 4 – Сравнение скорости и точности YOLO и SSD

В заключение можно сказать, что архитектура YOLO является хорошим выбором для новых проектов. Рекомендуется применять эту модель в видеонаблюдение, дронах, автономных автомобилях. Также существует много других моделей, которые требуют исследований и внимания. Из самых популярных можно выделить: EfficientDet, DETR, Vision Transformers. Также проводятся и внедряются квантовые версии YOLO для микроконтроллеров. Как видно, об-

ласть активно исследуется, и каждая из моделей имеет свои специфики и подходит для разных задач.

Список литературы

1. Макаров, М.А. Искусственный интеллект в промышленной информатике : учебное пособие / М.А. Макаров, И.Ю. Зайцев. – М. : МИРЭА – РТУ, 2024. – 118 с.
2. Vision-based approach for human motion detection and smart appliance control / S. Swami [etal.] // IAES International Journal of Robotics and Automation. – 2024. – Vol. 13, № 4. – Pp. 445-451.
3. Howard, A. MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications / A. Howard, M. Zhu, B. Chen [et al.] – arXiv:1704.04861, 2017. – 9 с.
4. Tan, M. EfficientDet: Scalable and Efficient Object Detection / M. Tan, R. Pang, Q. V. Le // CVPR. – 2020. – P. 10781-10790.
5. Redmon, J. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection / J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi. – arXiv:1506.02640, 2015. – 10 p.
6. Redmon, J. YOLO9000: Better, Faster, Stronger / J. Redmon, A. Farhadi. – URL: <https://arxiv.org/pdf/1612.08242> (дата обращения: 16.03.2025).
7. История YOLO – самой известной архитектуры компьютерного зрения. – URL: <https://datasecrets.ru/articles/20> (дата обращения: 16.03.2025).
8. Чжу, И. Исследование нейронных сетей YOLO / И. Чжу, Т.П. Новикова // Моделирование информационных систем и технологий : сборник материалов международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2022. – С. 338-342.
9. Bochkovskiy, A. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection / A. Bochkovskiy, C.-Y. Wang, H.-Y. M. Liao // arXiv preprint. – 2020. – arXiv:2004.10934.
10. Liu, W. SSD: Single Shot MultiBox Detector / W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan [et al.] – ECCV 2016. – Springer, 2016. – С. 21-37.

References

1. Makarov, M.A. Artificial intelligence in industrial informatics : a textbook / M.A. Makarov, I.Yu. Zaitsev. – M. : MIREA – RTU, 2024. – 118 p.

2. Vision-based approach for human motion detection and smart appliance control / S. Swami [et al.] // IAES International Journal of Robotics and Automation. – 2024. – Vol. 13, № 4. – Pp. 445-451.
3. Howard, A. MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications / A. Howard, M. Zhu, B. Chen [et al.] – arXiv:1704.04861, 2017. – 9 c.
4. Tan, M. EfficientDet: Scalable and Efficient Object Detection / M. Tan, R. Pang, Q. V. Le // CVPR. – 2020. – P. 10781-10790.
5. Redmon, J. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection / J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi. – arXiv:1506.02640, 2015. – 10 p.
6. Redmon, J. YOLO9000: Better, Faster, Stronger / J. Redmon, A. Farhadi. – URL: <https://arxiv.org/pdf/1612.08242>(accessed: 03/16/2025).
7. The history of YOLO, the most famous computer vision architecture. – URL: <https://datasecrets.ru/articles/20> (date of request: 03/16/2025).
8. Zhu, I. Research of YOLO neural networks / I. Zhu, T.P. Novikova // Modeling of information systems and technologies : proceedings of the international scientific and practical conference. –Voronezh, 2022. –pp. 338-342.
9. Bochkovsky, A. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection / A. Bochkovsky, C.-Y. Wang, H.-Y. M. Liao // arXiv preprint. – 2020. – arXiv:2004.10934.
10. Liu, W. SSD: Single Shot MultiBox Detector / W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan [et al.] – ECCV 2016. – Springer, 2016. – C. 21-37.

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ ЭФФЕКТОВ
НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ
METHODS FOR ASSESSING CAUSAL EFFECTS BASED
ON MACHINE LEARNING**

Михайлов А.М., студент

Щербакова И. В., к.т.н., доцент

**ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»**

г. Воронеж, Россия

tg3381234@gmail.com

Mikhailov A. M., student

Shcherbakova I.V., CSc (Engineering), Associate Professor

**FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov»**

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье проведен сравнительный анализ современных методов оценки причинно-следственных эффектов на базе машинного обучения: T-Learner, метода Гельмана и метод трансформации класса, которые помогают оценивать гетерогенные эффекты воздействия в наблюдательных выборках. В основе полученных результатов лежит проведенное экспериментальное исследование на реальных данных.

Summary: The article provides a comparative analysis of modern methods for assessing cause-and-effect effects based on machine learning: T-Learner, the Gelman method and the class transformation method, which help to evaluate heterogeneous effects of exposure in observational samples. The results obtained are based on an experimental study based on real data.

Ключевые слова: машинное обучение, Uplift, метод Гельмана, T-Learner, метод трансформации класса, treatment, Uplift - моделирование.

Keywords: machine learning, Uplift, Gelman's method, T-Learner, class transformation method, treatment, Uplift - modeling.

Одним из современных подходов в машинном обучении и причинно-следственном анализе является uplift-моделирование (моделирование прироста), который применяется для оценки индивидуального эффекта воздействия (treatment effect) на целевую метрику.

Рассмотрим задачу: компания готова предоставить скидки потенциальным клиентам, но не всем, а лишь тем, у которых высокая вероятность оттока. Возможность выявлять таких клиентов позволила бы увеличить прибыль и снизить отток пользователей. Построим модель, которая бы прогнозировала вероятность ухода покупателя к конкурентам (рисунок 1).

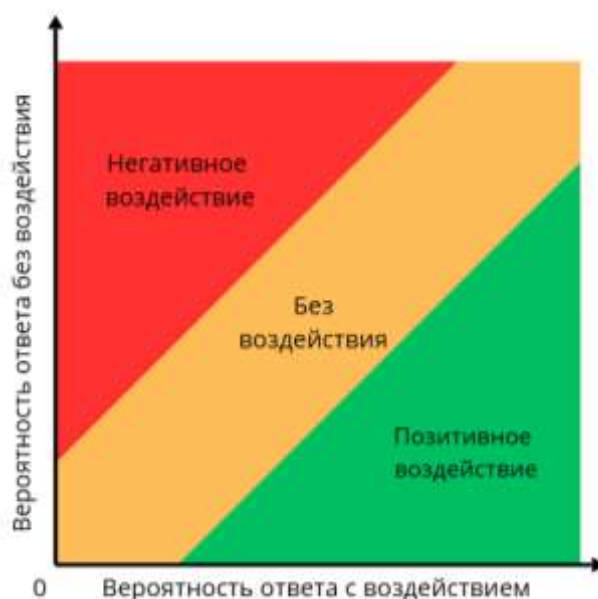


Рисунок 1 – Классификация реакций пользователя в зависимости от воздействия на него со стороны компании

Для решения этой задачи с использованием машинного обучения подходят несколько методов. Рассмотрим их применение на практике.

Метод двух моделей (англ. Two-Model Approach или T-Learner) предполагает независимую разработку двух моделей: первая модель – для контрольной группы (группа, которая не получила воздействие), вторая модель – для промо-группы (тестовая группа, для которой было применено воздействие). Значение Uplift для каждого объекта вычисляется, как разница между двумя моделями.

$$Uplift(x) = \hat{Y}_1(x) - \hat{Y}_0(x),$$

где $\hat{Y}_1(x)$ – значения, полученные для тестовой группы, $\hat{Y}_0(x)$ – значения, полученные для контрольной группы.

Преимущества данного метода:

1. Простота построения моделей, т.к. возможно использование любых ML-алгоритмов.

2. Каждая модель имеет свои настройки, специфичные для группы.

К недостаткам можно отнести:

1. Возникновение двойной ошибки моделирования, потребность в большем объеме данных.

2. Данный метод не учитывает зависимости между treatment'ом.

Рассмотри метод трансформации класса (ClassTransformation Method).

Введем целевую переменную:

$$Z_i = Y_i \cdot T_i + (1 - Y_i) \cdot (1 - T_i),$$

где Y_i – исходная целевая переменная (например, конверсия: 1 или 0), T_i – индикатор treatment'a (1 – тестовая группа, 0 – контрольная группа).

Ситуация $Z_i = 1$ возможна, если:

– клиент, который получил воздействие, совершил целевое действие ($Y_i = 1, T_i = 1$);

– клиент, который не получил воздействие, не совершил покупку ($Y_i = 0, T_i = 0$).

Ситуация $Z_i = 0$ возможна, если:

– клиент, который получил воздействие, не совершил покупку ($Y_i = 0, T_i = 1$);

– клиент, который не получил воздействие, совершил покупку. ($Y_i = 1, T_i = 0$).

После обучения uplift будем считать по формуле:

$$Uplift(x) = 2 \cdot P(Z = 1 | X = x) - 1.$$

Достоинствами данного метода является:

1. Простота модели.

2. Возможность учета взаимодействия признаков.

Недостатки метода:

1. Работает только для бинарных задач.

2. Не очень большая точность предсказаний на сложных данных.

Метод Гельмана (байесовский подход Гельмана) предполагает моделирование с применением алгоритма построения uplift-дерева, в котором разбиение узлов (splits) выбирается так, чтобы максимизировать разницу в uplift между дочерними узлами:

$$\Delta_{gain} = D_{after-split}(P^T, P^C) - D_{before-split}(P^T, P^C),$$

где $D_{after-split}$ и $D_{before-split}$ – меры различия между распределениями в тестовой (P^T) и контрольной (P^C) группах до и после разбиения.

Δ_{gain} показывает, насколько разбиение улучшает разделение эффектов treatment'a. На рисунке 2 приведен пример разбиения uplift-дерева в зависимости от эффекта treatment'a.

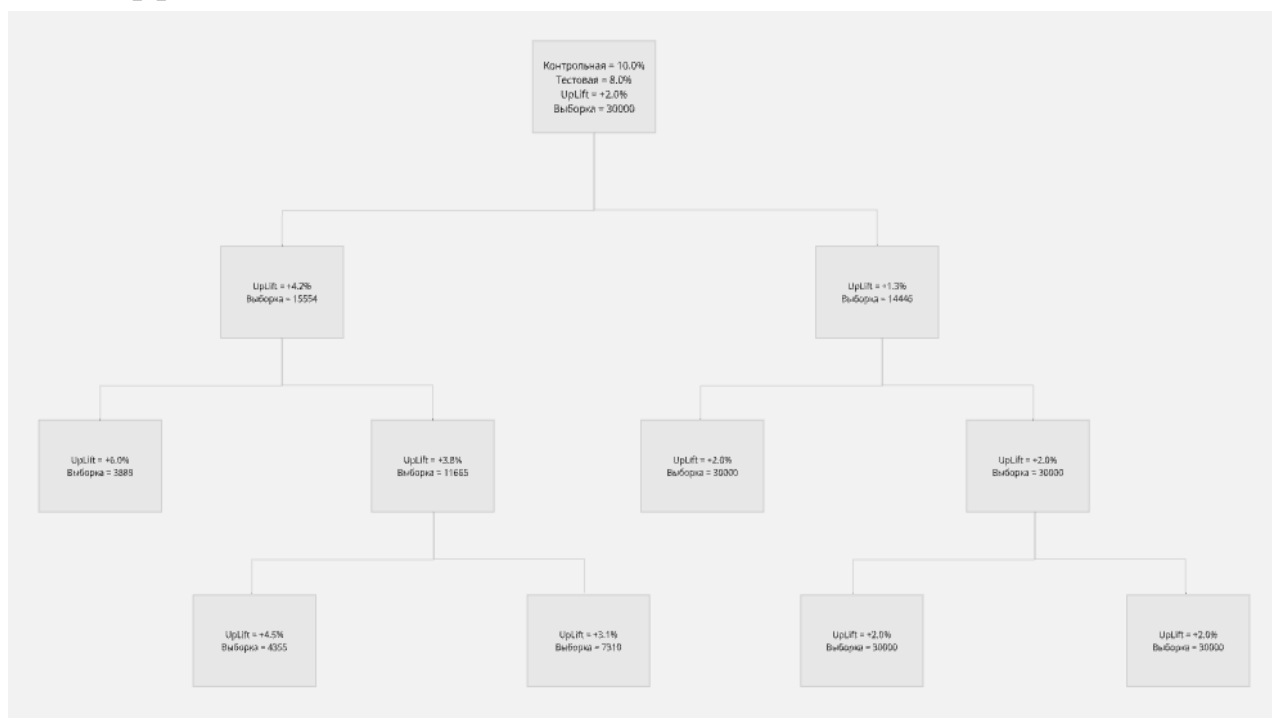


Рисунок 2 – Разбиение uplift-дерева в зависимости от эффекта treatment'a

Для разделения можно использовать KL-дивергенцию или другие методы. KL-дивергенция (расстояние Кульбака–Лейблера) используется в uplift-деревьях как один из возможных критериев разделения (splitting criteria). Она помогает выбрать такое разбиение узла, которое максимально увеличивает неоднородность эффекта treatment'a между подгруппами (левой и правой ветвями дерева).

$$KL(P:Q) = \sum_{k=Left,Right} p_k \log \frac{p_k}{q_k},$$

где P – распределение конверсий в тестовой группе, Q – распределение в контрольной группе.

По данному критерию можно сделать следующий вывод: чем больше $KL(P:Q)$, тем сильнее различается эффект treatment'a в подгруппах.

Алгоритм выбирает разбиение, которое максимизирует KL-дивергенцию между P и Q (т.е. делает эффект treatment'a максимально неоднородным).

Для экспериментального исследования выберем метод Гельмана и метод T-Learner, так целевые значения используемого дата-сета не бинарные. В дата-сете содержится информация о 64000 клиентах, которые совершили покупку перед email-рассылкой в последний раз в течение 12 месяцев (рисунок 3).

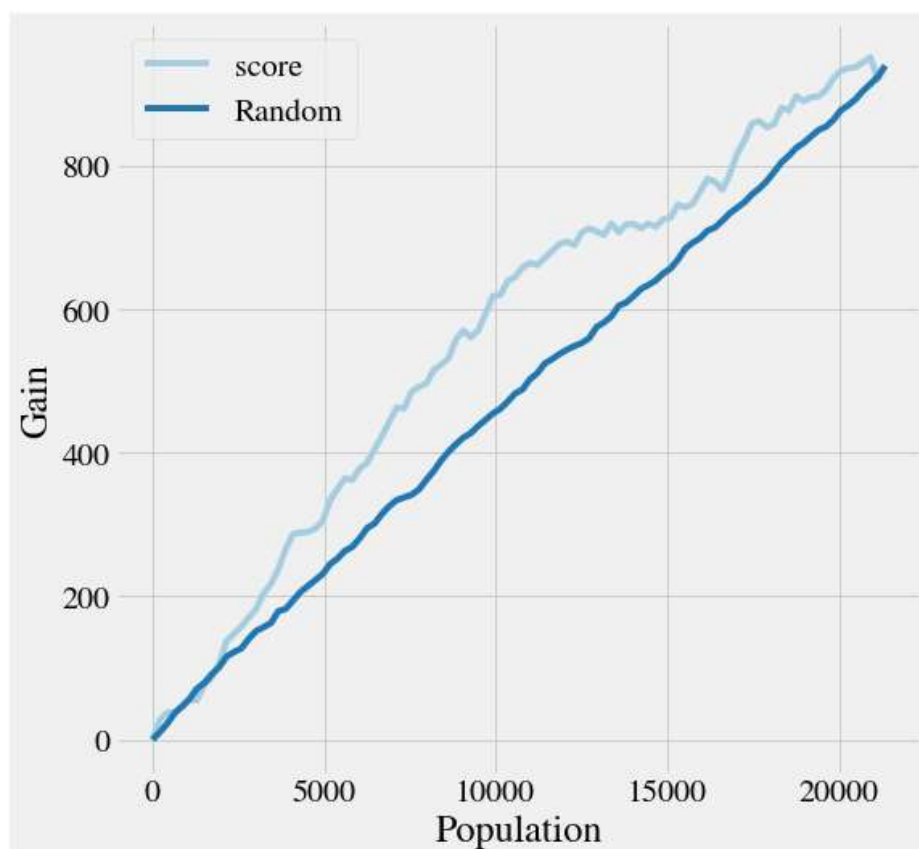


Рисунок 5 – Результаты после обучения по методу T-Learner

Линия score (Uplift Model) показывает, как растет полезный эффект (Gain) при таргетинге на клиентов, отобранных моделью. Чем выше кривая, тем лучше модель выделяет «чувствительных» к воздействию пользователей.

Линия (Random) – это ожидаемый эффект при случайном выборе клиентов для воздействия. Чем больше разница между uplift-моделью и Random, тем выше качество модели.

После реализации uplift-модели, построенной методом Гельмана, были получены следующие результаты (рисунок 6).

Модель показала лучшие результаты относительно метода T-Learner. Почти весь gain достигается на малой популяции (около 5000 клиентов). Это говорит о точном ранжировании: лучшие клиенты сосредоточены в начале.

На основании анализа графиков можно сделать следующие выводы: uplift-деревья демонстрируют быстрый рост gain на малой популяции, что указывает на способность точно выделять наиболее «отзывчивых» пользователей. Пиковый эффект (~800) достигается раньше, чем у T-Learner. Исследования показывают, что метод Гельмана оптимален для задач с ярко выраженной гетерогенностью эффекта, где небольшая группа клиентов дает основной прирост.

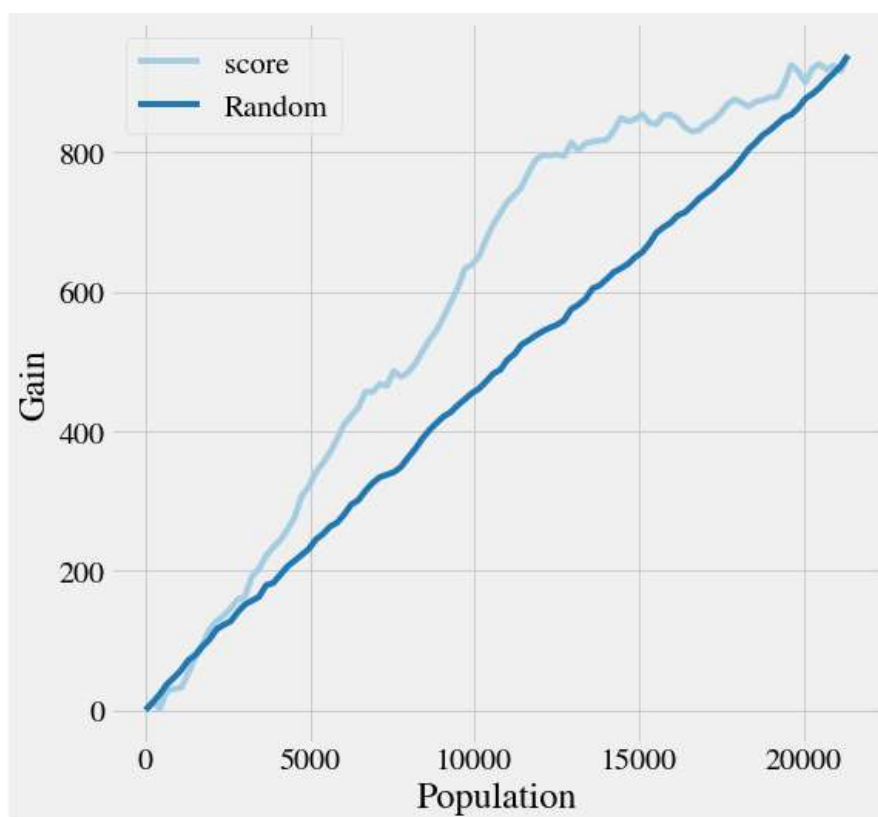


Рисунок 6 – Результаты после обучения по методу Гельмана

У T-learner модели gain растет более плавно, требуя охвата большей популяции (10,000 клиентов для 80% эффекта). Однако данный метод универсален и прост в реализации.

В заключение можно сказать, что выбор метода зависит от бизнес-целей. Если ресурсы ограничены (например, бюджет на скидки), uplift-деревья предпочтительнее, они быстрее выявляют «золотую» аудиторию. Если важна интерпретируемость и простота, можно применять метод T-Learner. Uplift-деревья лучше подходят для точечного таргетинга, а T-Learner – для базового анализа.

Список литературы

1. Pearl, J. Causal Inference in Statistics: A Primer / J. Pearl, M. Glymour, N.P. Jewell. – Wiley, 2016. – 160 p.
2. Imbens, G.W. Causal Inference for Statistics, Social, and Biomedical Sciences / G.W. Imbens, D.B. Rubin. – Cambridge University Press, 2015. – 640 p.
3. Bayesian Data Analysis / A. Gelman, J.B. Carlin, H.S. Stern [et al.]. – 3rd ed. – Chapman & Hall/CRC, 2013. – 675 p.
4. Gutierrez, P. Uplift Modeling: From Causal Inference to Personalization. – URL: <https://arxiv.org/abs/1705.08492> (дата обращения: 01.04.2025).
5. CausalML Documentation. – URL: <https://causalml.readthedocs.io/> (дата обращения: 01.04.2025).

6. Scikit-uplift Library. – URL: <https://scikit-uplift.readthedocs.io/> (дата обращения: 01.04.2025).

References

1. Pearl, J. Causal Inference in Statistics: A Primer / J. Pearl, M. Glamour, N.P. Jewell. – Wiley, 2016. – 160 p.

2. Imbens, G.W. Causal Inference for Statistics, Social, and Biomedical Sciences / G.W. Imbens, D.B. Rubin. – Cambridge University Press, 2015. – 640 p.

3. Bayesian Data Analysis / A. Gelman, J.B. Karlin, H.S. Stern [et al.]. – 3rd ed. – Chapman & Hall/CRC, 2013. – 675 p.

4. Gutierrez, P. Uplift Modeling: From Causal Inference to Personalization. – URL: <https://arxiv.org/abs/1705.08492> (accessed: 01.04.2025).

5. CausalML Documentation. – URL: <https://causalml.readthedocs.io/> (accessed: 01.04.2025).

6. Scikit-uplift Library. – URL: <https://scikit-uplift.readthedocs.io/> (accessed: 01.04.2025).

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ
ШОКОЛАДНЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КОНФЕТ**

ПЕРЕД УПАКОВКОЙ

**AN AUTOMATED SYSTEM FOR POSITIONING RECTANGULAR
CHOCOLATE CANDIES BEFORE PACKAGING**

Мравеш Н. И., студент

Поляков С. И., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

mravesh@yandex.com

Mravesh N. I., Student

Polyakov S.I., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматривается автоматизация процесса упаковки шоколадных конфет с использованием современных систем управления. Обсуждаются преимущества применения программируемых логических контроллеров (ПЛК) DeltaDVP-ES2 и DVP-SV2, преобразователей частоты DeltaVFD-E и сервоприводов DeltaASD-A2, которые обеспечивают точную и синхронизированную работу упаковочной линии. Анализируются методы коррекции отклонений в позиционировании конфет, а также алгоритмы управления движением механизмов. Обращено внимание на важность системы управления, оснащённой сенсорной панелью DeltaDOP-100, для обеспечения контроля параметров в реальном времени. В результате реализации данных технологий достигается высокая производительность и надёжность упаковочного процесса, что способствует улучшению качества упаковки и снижению производственных затрат, а также увеличивает общую экономическую эффективность предприятия

Summary: This article discusses the automation of the chocolate confection packaging process using modern control systems. It examines the advantages of employing Delta DVP-ES2 and DVP-SV2 programmable logic controllers (PLCs), Delta VFD-E frequency converters, and Delta ASD-A2 servos, which ensure precise and synchronized operation of the packaging line. Methods for correcting deviations in the positioning of candies are analyzed, as well as algorithms for managing the movement of mechanisms. The importance of a control system equipped with a Delta DOP-100 touchscreen panel for real-time parameter monitoring is highlighted. As a result of implementing these technologies, high productivity and reliability of the packaging process are achieved, leading to improved packaging quality and reduced production costs, thus enhancing the overall economic efficiency of the enterprise

Ключевые слова: автоматизация, упаковка, шоколадные конфеты, системы управления, программируемые логические контроллеры (ПЛК), Delta DVP-ES2, Delta DVP-SV2, преобразователи частоты, Delta VFD-E, сервоприводы, Delta ASD-A2, коррекция отклонений, алгоритмы управления, сенсорная панель, Delta DOP-100, производительность, надёжность, экономическая эффективность

Keywords: automation, packaging, chocolate confections, control systems, programmable logic controllers (PLCs), Delta DVP-ES2, Delta DVP-SV2, frequency converters, Delta VFD-E, servos, Delta ASD-A2, deviation correction, control algorithms, touchscreen panel, Delta DOP-100, productivity, reliability, economic efficiency

На участке автоматической упаковки конфет с машиной типа «флоупак» используется следующее оборудование. На рисунке 1 конвейер подачи перемещает конфеты с основной линии на вход упаковочной машины. Конвейер может иметь разные скорости и механизмы для направления продукции. Движение конвейера синхронизируется с циклом отливки и регулируется прерывателем.

Сформированные конфеты поступают на приёмный конвейер, состоящий из трёх участков, каждый из которых приводится в движение отдельным двигателем с индивидуальным преобразователем частоты VFD-E. Все преобразователи работают синхронно с циклом отливки, обеспечивая равномерную подачу изделий на упаковку [1].



Рисунок 1 – Приёмный транспортёр, состоящий из трёх сегментов

Выравнивающий модуль (рисунок 2) выравнивает конфеты по ширине и направлению перед упаковкой, обеспечивая равномерное распределение продукции для корректной упаковки. На следующем этапе конфеты укладываются в линию с помощью нескольких транспортёров, установленных зигзагообразно. Их синхронной работой управляют два преобразователя частоты VFD-E. Важным шагом является распределение конфет с одинаковыми интервалами, иначе в пакеты попадёт неодинаковое количество изделий. Это выполняет выравнивающий укладчик, который контролируется пятью преобразователями частоты VFD-E.



Рисунок 2 – Зигзагообразный (слева) и выравнивающий (справа) укладчики

Одновременно выравнивающий укладчик служит буфером, обеспечивая непрерывное поступление конфет на упаковочную линию, что устраняет колебания количества конфет с приёмного конвейера. Это предотвращает ситуацию, когда упаковочный пакет оказывается пустым или переполненным.

На некоторых упаковочных линиях могут использоваться механизмы группировки, которые временно собирают несколько конфет для упаковки в один пакет. В частном случае предполагается, что в упаковку помещается одна конфета.

С помощью датчиков контролируется расстояние между движущимися конфетами и ячейками лопаточного конвейера. Подающий транспортёр, рабо-

тающий от сервоприводов DeltaASD-A2, регулирует свою скорость для точного размещения конфет между лопатками (рисунок 3).

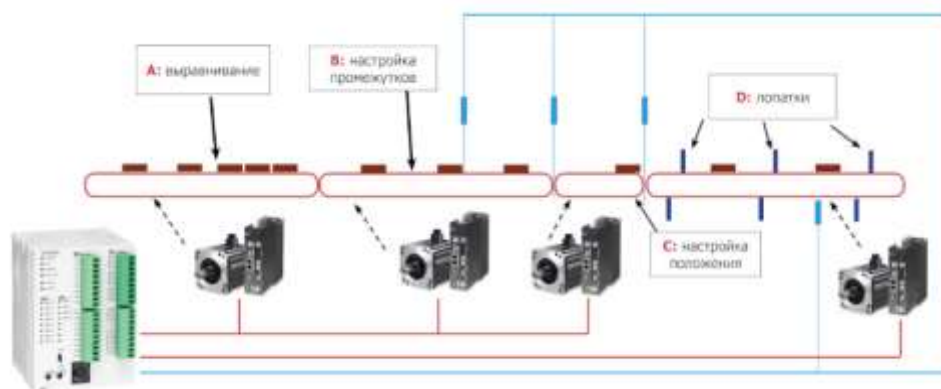


Рисунок 3 – Блок-схема подающего узла упаковочной линии

Конвейер «А» служит накопителем, где конфеты располагаются вплотную друг к другу. Регулирующий конвейер «В», имея разную скорость, разделяет поток конфет на отрезки с одной конфетой на каждом, сохраняя расстояние между конфетами равным расстоянию между лопатками на лопаточном конвейере. Обычно конвейер «В» работает синхронно с лопаточным конвейером. Датчики определяют расположение конфет и лопаток, после чего рассчитывается необходимое ускорение или замедление ленты для коррекции положения конфет. Более высокая скорость конвейера позволяет быстрее производить корректировку, но слишком высокая скорость может привести к нестабильной работе из-за проскальзывания.

Следом за конвейером «В» расположен регулирующий конвейер «С», который обычно движется с той же скоростью, что и лопаточный конвейер. Его задача аналогична задаче конвейера «В», но длина ленты соответствует шагу между лопатками, и на нем должна находиться только одна конфета во время разгону или торможения. Главная сложность — проскальзывание конфет на высокой скорости, что требует перенастройки. Для снижения риска проскальзывания ленты «А», «В» и «С» делают перфорированными, что увеличивает трение между конфетами и лентой. Чтобы предотвратить проскальзывание ленты на шкивах, необходимо обеспечить правильное натяжение, а поверхности конвейеров должны быть на одном уровне. В процессе настройки важно также точно выставить датчики (рисунок 4).

Рекомендации по установке и регулировке датчиков включают следующие шаги:

- Датчик В размещается в месте стыка конвейеров «А» и «В».

- Датчики А и С устанавливаются на расстоянии S от датчика В с обеих сторон, где S — шаг лопаточного конвейера.
- Датчик D устанавливается на расстоянии, кратном S , от датчика В.

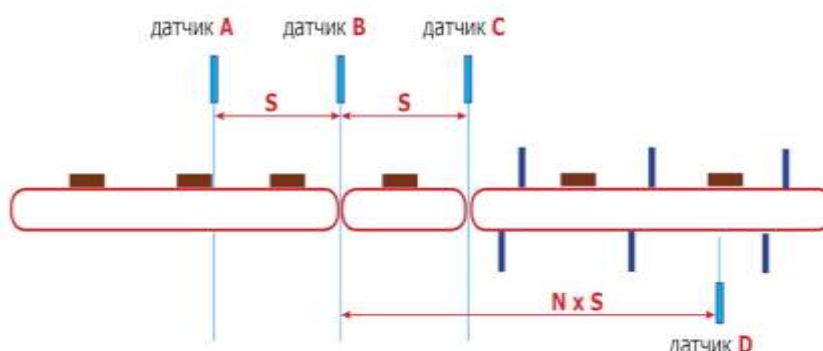


Рисунок 4 – Схема установки датчиков подающего узла

Упаковочная машина (рисунок 5) типа «флоупак»: это устройство оборачивает конфеты упаковочной плёнкой, формируя её вокруг продукции и запечатывая для создания индивидуальных упаковок. Лопаточный конвейер подаёт конфеты по одной к месту упаковки. Параллельно подаётся упаковочная плёнка, разрезаемая узлом резки на отдельные пакеты. Нагревательный элемент узла упаковки обеспечивает горизонтальное запечатывание, а ролик вертикальной сварки формирует вертикальный шов и продвигает плёнку.

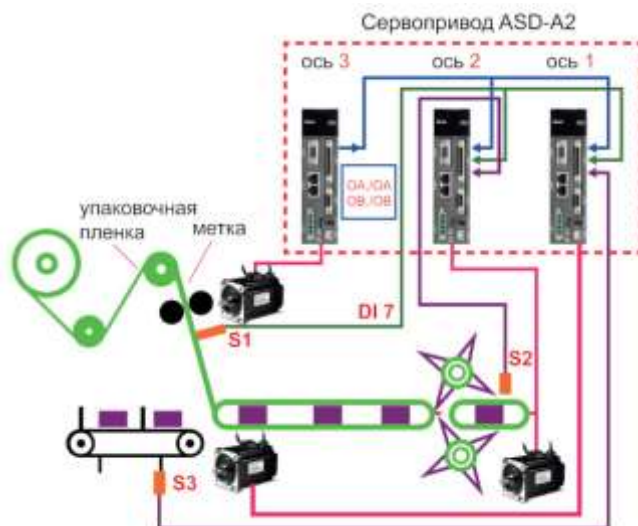


Рисунок 5 – Блок-схема узла упаковки конфет

Механизм подачи плёнки: это устройство подаёт упаковочную плёнку с рулона на упаковочную машину, обеспечивая защиту конфет. Движение всех механизмов в узле упаковки контролируется сервоприводами DeltaASD-A2. Привод подачи плёнки (ось 3 на схеме) является основной осью узла (мастер-ось). Привод ножа (ось 2) синхронизирован с мастер-осью через функцию «электронного кулачка» и работает в режиме позиционирования. При получении

нии сигнала от датчика цветной метки S1 активируется этот режим, и ASD-A2 начинает выполнять профиль «электронного кулачка», обеспечивая точное позиционирование ножа.

Привод подачи конфет (ось 1) синхронизирован с мастер-осью через функцию «электронного кулачка». Для автоматической настройки положения конфет на конвейере используется синхронизация с цветными метками на плёнке. Далее рассмотрим основные принципы расчёта работы подающего транспортёра, способы коррекции отклонений в его положении и алгоритм настройки ключевых параметров системы управления. Также будут описаны распространённые проблемы, возникающие при настройке или работе линии, и методы их решения.

Рассмотрим алгоритм работы подающего (лопаточного) транспортёра. Поскольку принципы настройки подающих транспортёров аналогичны для одной и нескольких конфет, рассмотрим пример с несколькими конфетами (рисунок 6).

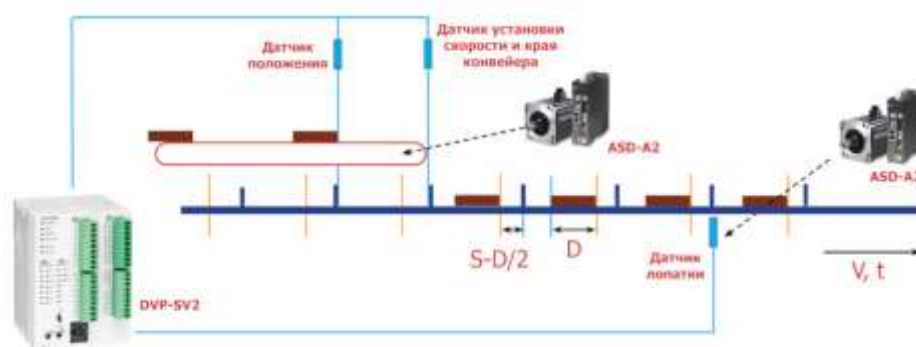


Рисунок 6 – Блок-схема управления подающим (лопаточным) транспортёром

Сервоприводы лопаточного транспортёра и подачи упаковочной плёнки работают синхронно. Предполагается, что они движутся со скоростью V , расстояние между лопатками составляет S , а время упаковки одной конфеты - t . За время t конвейер проходит расстояние S при скорости V . Поскольку шаг цепи одинаков, рассматривается бесконечная длина цепи.

Для точного размещения конфеты (длиной D) между лопатками необходимо контролировать расстояние от края конфеты до ближайшей лопатки. Это расстояние рассчитывается как $(S-D)/2$ (оранжевая линия на рисунке 7) и используется как базовая точка для управляющих команд сервоприводов.

Когда лопатка проходит перед датчиком, контроллер получает её текущее положение (SCHAIN). При прохождении конфеты мимо датчика контроллер фиксирует её положение (SCANDY).

При запуске упаковочной линии лопатка пересекает датчик раньше, чем конфета, так что расстояние между ними составляет $\Delta S = SCANDY - SCHAIN$, где ΔS варьируется от 0 до S . На рисунке 7 лопатка изображена голубой линией, а край конфеты, обозначенный оранжевой линией, расположен на расстоянии $(S-D)/2$ позади лопатки.

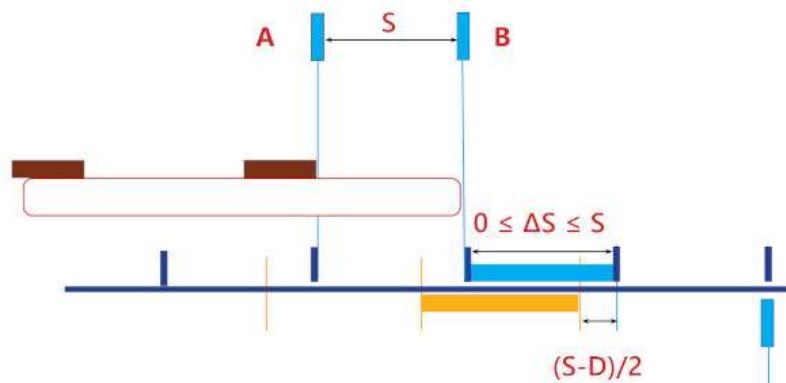


Рисунок 7 – Данные, необходимые для расчета и настройки подающего транспортера

Если датчик А не фиксирует конфету, это указывает на синхронное движение конфеты и лопатки со скоростью V . Датчик А служит для выявления отклонений реального положения конфеты. Когда происходит отклонение (датчик А обнаруживает конфету), система управления генерирует команду для ускорения в точке А с целью «поймать» базовую точку или замедлить до следующей.

Ускорение или замедление производится с выбранной оператором скоростью в заранее определённом диапазоне. Для полной синхронизации движения конфеты с лопаточным конвейером конфета должна достичь датчика В одновременно с лопаткой. Алгоритм коррекции представлен на рисунке 8.

Рассмотрим возможные ситуации, возникающие при несоответствии в движении конфеты и ленточного транспортёра, а также методы расчёта корректирующих воздействий.

Ситуация 1. Если базовая точка находится в красной зоне (рисунок 9), это означает, что выполняется условие $-(S-D)/2 \leq \Delta S^* \leq 0$, и интервал лопаточного транспортёра составляет $0 \leq \Delta S \leq (S-D)/2$. В этом случае для совпадения положения конфеты с базовой точкой необходимо замедлить её движение. Предположим, что конфета движется от датчика А со скоростью V и затем останавливается под датчиком В. Если время движения составляет t , то: $S = V \times t$.

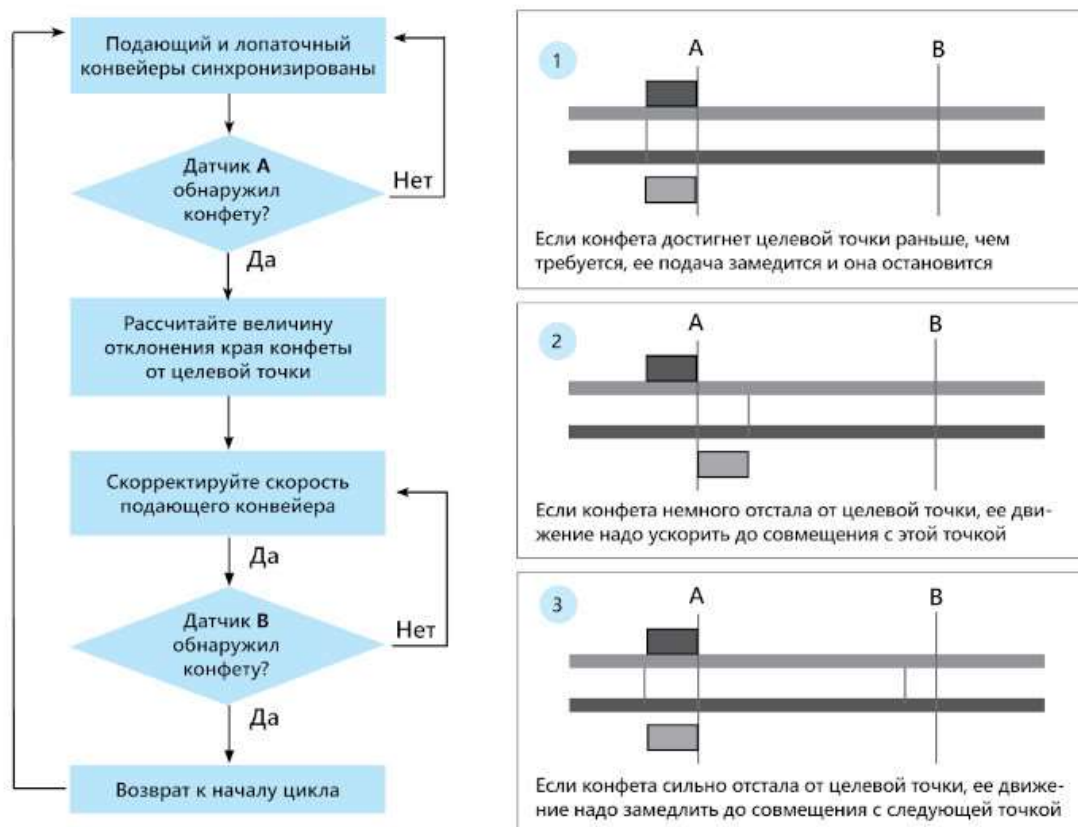


Рисунок 8 - Алгоритм коррекции отклонений по положению

Для достижения базовой точки конфетой со скоростью V потребуется время t . Диапазон регулирования будет следующим:

$$S^* = S + \frac{(S-D)}{2} - \Delta S = V \times t \quad (1)$$

С учётом этого уравнения можно рассчитать требуемую скорость V^* .

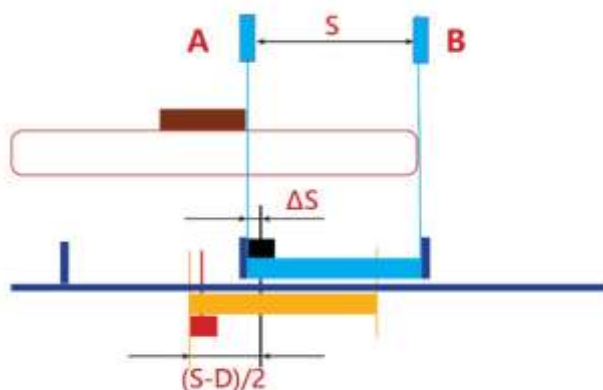


Рисунок 9 – Схема расчёта корректирующего воздействия для ситуации 1

Ситуация 2. Чтобы предотвратить ситуацию, изображённую на рисунке 10 (возникает при слишком высокой скорости движения лопаточного транспортера), нужно установить предел диапазона регулирования на расстоянии $S/2$ от датчика А.

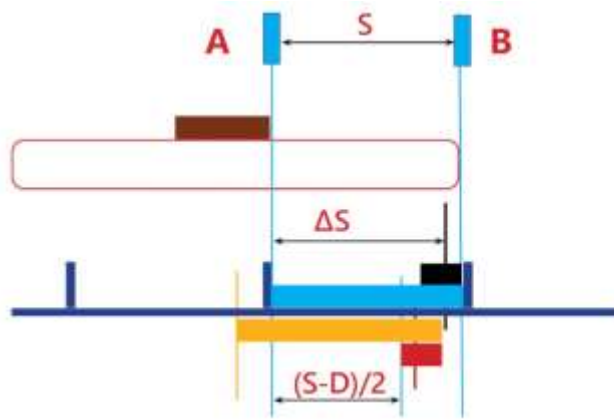


Рисунок 10 – Схема расчета корректирующего воздействия для ситуации 3

Если базовая точка попадает в красную зону, выполняется условие:

$$0 \leq \Delta S^* \leq S/2 \quad (2)$$

В этом случае диапазон регулирования для лопаточного транспортера составит

$$\frac{(S-D)}{2} \leq \Delta S \leq \frac{(2S-D)}{2} \quad (3)$$

Чтобы привести конфету в соответствие с базовой точкой, требуется ускорить её движение. Если конфета движется от датчика A со скоростью V и останавливается под датчиком B, а время движения составляет t, то:

$$S = V \times t \quad (4)$$

Базовая точка будет достигнута за время t при скорости V. Диапазон регулирования в этом случае выражается как:

$$S^* = S - (\Delta S - \frac{(S-D)}{2}) = V \times t \quad (5)$$

С учётом этого уравнения можно рассчитать требуемую скорость V^* .

Ситуация 3. Если одновременно фиксируются две конфеты (в момент T), система генерирует команду для ускорения. Положение второй конфеты будет иметь более значительное отклонение. В случае регулируемого транспортера возникает необходимость замедлить движение конфет, когда обе конфеты, связанные одной базовой точкой, попадают в одну ячейку лопаточного транспортера. Если базовая точка попадает в красную зону (рисунок 10), выполняется условие:

$$\frac{S}{2} \leq \Delta S^* \leq S - \frac{(S-D)}{2} \quad (6)$$

Диапазон регулирования для лопаточного транспортера составит:

$$\frac{(2S-D)}{2} \leq \Delta S \leq S \quad (7)$$

Если конфета движется от датчика A со скоростью V и затем останавливается под датчиком B, а время её движения равно t, то: $S = V \times t$.

Базовая точка будет достигнута за время T + t при скорости V. Диапазон регулирования можно выразить как:

$$S^{\wedge*} = 2S - (\Delta S - \frac{(S-D)}{2}) = V \times t \quad (8)$$

С учётом этого уравнения можно рассчитать требуемую скорость $V^{\wedge*}$.

Автоматизация технологического процесса упаковки шоколадных конфет с использованием современных систем управления значительно повышает эффективность производства. Применение ПЛК DeltaDVP-ES2 и DVP-SV2, преобразователей частоты DeltaVFD-E и сервоприводов DeltaASD-A2 обеспечивает точную и синхронизированную работу всех механизмов упаковочной линии [2-4]. Эти устройства гарантируют высокую производительность и надёжность, минимизируя человеческий фактор и исключая ошибки в упаковке. Система управления с возможностью точной настройки и контроля параметров в реальном времени через сенсорную панель DeltaDOP-100 позволяет оперативно реагировать на любые отклонения, что важно для стабильности производственного процесса. Современные технологии, такие как «электронный кулачок» и синхронизация по мастер-оси, обеспечивают высокую точность и надёжность работы линии. В результате автоматизация улучшает качество упаковки и снижает затраты, увеличивая общую экономическую эффективность предприятия.

Список литературы

1. Поляков, С.И. Автоматика и автоматизация производственных процессов : учеб. пособие / С.И. Поляков; Фед. агентство по образованию, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2008. – 372 с.
2. Delta Electronics, Inc. Delta DVP-ES2 Series PLC User Manual.–URL: https://www.delta-electronics.info/content/files/DVP_ES2_manual_rus.pdf (дата обращения: 23.03.2025).
3. Delta Electronics, Inc. Delta DVP-SV2 Series PLC User Manual. –URL: https://www.intechnics.ru/download/DVP-ES&EX_manual_rus.pdf (дата обращения: 22.03.2025).
4. Delta Electronics, Inc. Delta VFD-E Series Frequency converters User Manual. –URL: https://ies-drives.ru/download/Delta/VFD-E_manual_rus.pdf (дата обращения: 22.03.2025).

References

1. Polyakov, S.I. Automation and automation of production processes : textbook. manual / S.I. Polyakov; Federal Agency for Education, State Educational Institution of Higher Professional Education "VGLTA". –Voronezh, 2008. – 372 p.

2. Delta Electronics, Inc. Delta DVP-ES2 Series PLC User Manual. - - URL: https://www.delta-electronics.info/content/files/DVP_ES2_manual_rus.pdf (accessed: 03/23/2025).

3. Delta Electronics, Inc. Delta DVP-SV2 Series PLC User Manual. - - URL: https://www.intechnics.ru/download/DVP-ES&EX_manual_rus.pdf (accessed: 03/22/2025).

4. Delta Electronics, Inc. Delta VFD-E Series Frequency converters User Manual. – URL: https://ies-drives.ru/download/Delta/VFD-E_manual_rus.pdf (accessed: 03/22/2025).

**АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛИНИЙ НА УЧАСТКЕ
СОРТИРОВКИ ТОВАРОВ
AUTOMATION OF CONVEYOR LINES AT THE GOODS SORTING SITE**

Мустафаев Э.Н., студент

Поляков С.И., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

mustafaev_elsun@mail.ru

Mustafaev E.N., Student

Polyakov S.I., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматривается система управления тремя конвейерами, которая обеспечивает регулирование процесса запуска и включает в себя контролируемую остановку и пуск в направлении противоположном движению груза. Разработаны схемотехнические решения управления конвейерной линией. Для определения причин остановки и неисправностей применяется система управления качеством.

Summary: The article discusses a three-conveyor control system that regulates the start-up process and includes control led stop and start in the direction opposite to the movement of the load. Circuit design solutions for conveyor line control have been developed. A quality management system is used to determine the causes of shutdowns and malfunctions.

Ключевые слова: конвейерная линия, пуск, останов, схемотехнические решения, управление качеством, модернизация, тяговый элемент, скорость, перегрузка двигателя, автоматизация.

Keywords: conveyor line, start, stop, circuit solutions, quality management, modernization, traction element, speed, engine overload, automation.

При управлении сложной конвейерной системой, обслуживающей технологический комплекс, необходимо реализовать систему блокировок и сигнализации для обеспечения безопасной и эффективной работы. Для оперативного контроля состояния конвейеров на пульте управления используется световая мнемосхема. В качестве примера рассматривается трехконвейерная линия, где каждый конвейер приводится в движение асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором. Схема управления конвейерами показана на рисунке 1.

Система управления для электродвигателей конвейерной линии обеспечивает строгое регулирование процесса запуска, включающее в себя контролируемую остановку и пуск в направлении противоположном движению груза. Это предотвращает возникновение заторов при перегрузке, поскольку каждый следующий конвейер запускается только после того, как предыдущий полностью разгоняет свои грузонесущие элементы. Реализация такой последовательности осуществляется посредством реле скорости, контролирующего работу тяговых механизмов, что гарантирует корректный порядок как запуска, так и остановки системы в соответствии с направлением грузопотока. Кроме того, для обеспечения безопасности и эффективности работы, необходимо внедрить систему, которая при аварийной остановке любого конвейера в цепи автоматически остановит все конвейеры от начального участка до места аварии, в то время как остальная часть системы продолжит функционировать для своевременного опустошения грузонесущих элементов. Особое внимание уделяется мониторингу времени запуска ленточных конвейеров, поскольку задержка в пуске может указывать на возникшие неисправности, связанные с конструктивными, технологическими причинами либо со сбоями в системе управления. Во-первых, система управления должна обеспечивать в этих случаях экстренный останов оборудования. Во-вторых, необходимо автоматическое аварийное отключение не только самого конвейера, но и всех последующих элементов в направлении движения при возникновении следующих проблем; затянувшийся запуск, значительное замедление ленты, обрыв тягового элемента, превышение допустимой скорости, перегрузка двигателя, перегрев подшипников, образование завалов, сход ленты. При этом, ключевым требованием является обеспечение искробезопасности в цепях управления и минимизация количества используемых электрических жил.

Для полного контроля над поточно-транспортной системой необходимо реализовать комплексную систему сигнализации, включающую в себя предупредительные сигналы, информирующие о потенциальных проблемах, аварий-

ные сигналы, оповещающие о критических ситуациях, а также информационные сигналы, отображающие количество работающих конвейеров и другие параметры, необходимые для мониторинга состояния системы [1].

В соответствии с установленными нормами, процесс запуска конвейерной линии происходит в строгой последовательности действий. Первым шагом является активация электродвигателя М1, осуществляемая нажатием на кнопку SB1. В этот момент подключается питание к контактору КМ1, который срабатывает и замыкает линейные контакты КМ1.1, обеспечивая подачу тока к статору асинхронного двигателя М1. Это запускает вращение двигателя и, как следствие, приводит ленту конвейера в движение.

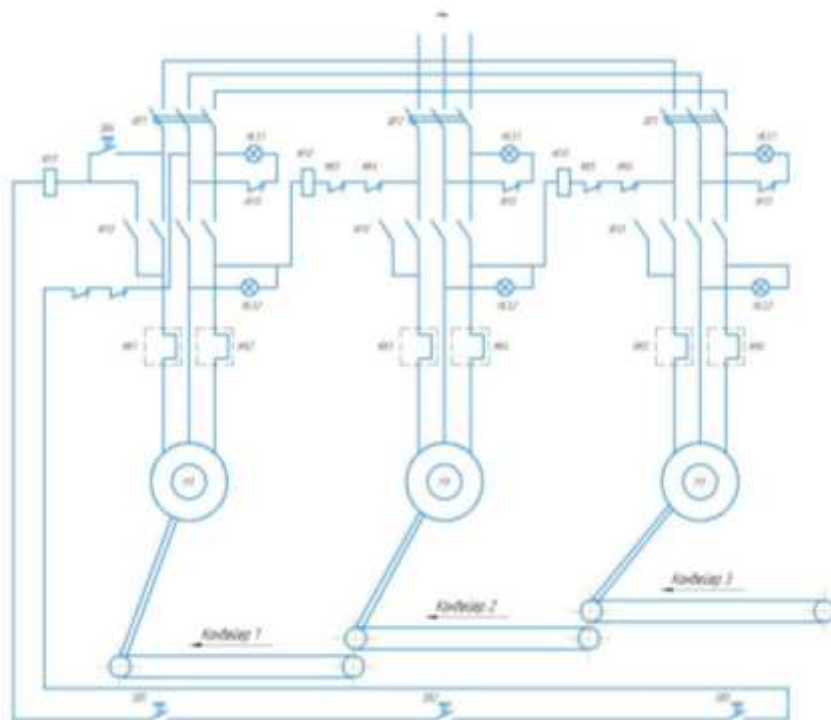


Рисунок 1 – Управление конвейерной линией

В процессе работы конвейера, движение ленты инициирует вращение вала тахогенератора реле скорости KV1. При достижении лентой заданной скорости, реле KV1 активируется, замыкая два своих контакта: KV1.1, шунтирующий контакт КТ1.1, и KV1.2, который передает сигнал управления на следующий конвейер. Реле времени КТ1 контролирует нормальный ход процесса запуска. По истечении заданного времени реле КТ1 деактивируется, размыкая свой контакт КТ1.1 в цепи контактора КМ1. Однако, несмотря на это, контактор КМ1 продолжает получать питание через замкнутый контакт KV1.2.

В случае, если лента конвейера не успевает набрать необходимую скорость в течение установленного времени, происходит следующее: контакт КТ1.1 размыкается прежде, чем успевает замкнуться контакт KV1.1. Это при-

водит к немедленной остановке двигателя М1, поскольку цепь питания контактора КМ1 оказывается разомкнутой.

Замедленный разгон свидетельствует о возможном проскальзывании ленты по приводному барабану, что представляет собой опасный режим работы, несущий риск возгорания ленты. Во избежание подобной ситуации, схема управления оборудована специальной блокировкой, исключающей возможность работы в таком режиме. При успешном завершении процесса запуска первого двигателя М1, инициируется сигнал для запуска двигателя М2 второго конвейера посредством замыкания контакта КV1.2. Получив питание, катушка контактора КМ2 замыкает свои контакты КМ2.1 в цепи статора двигателя М2, приводя его в действие. Процесс контроля запуска второго двигателя осуществляется аналогичным образом.

В настоящий момент конвейерные системы (ленточные и скребковые) оборудованы комплексной системой, включающей датчики для отслеживания схода ленты, её скорости, состояния тяговых элементов, а также систему сигнализации и блокировки, обеспечивающей безопасное взаимодействие составных частей, как самой линии, так и органов управления.

При проектировании грузотранспортирующих линий необходимо изучить алгоритм работы оборудования, особенности его функционирования, применяемых электроприводов, датчиков технологической информации, других технических средств автоматизации, их размещение и способы управления линией.

Необходимо предусмотреть, чтобы каждый отдельный конвейер имел возможность независимой автономной работы, был оснащен достаточным количеством технических средств, таких как датчики нагрузки, скорости вращения или перемещения, контроля провисания ленты или выхода за пределы рабочей зоны, релейно-контактную или бесконтактную аппаратуру управления.

Должен быть выполнен анализ существующего электрооборудования, осуществляющего привод конвейеров. Далее отдельные цепи управления объединяются в общую схему, реализующую комплексную работу линии под управлением выше указанных средств автоматизации, а также промышленного компьютера. Общая схема проверяется на наличие ложных и неверных срабатываний, осуществляется ее корректировка, расчет и выбор требуемого КТС. Первоначальный запуск конвейеров должен осуществляться в направлении обратном грузопотоку во избежание завала. Таким образом, скоординированная работа линии позволит в дальнейшем обеспечить ее оптимальную работу.

Система автоматизации включает управление временем разгона и остановки конвейера до заданных параметров, поочерёдное включение двигателей на конвейерах с двойным приводом с определёнными интервалами, комплекс мер безопасности и аварийных блокировок для бесперебойной и безопасной работы. Для точного определения причин остановки и локализации неисправностей разработана система управления качеством (УКИ), которая автоматически активирует натяжной домкрат при проскальзывании ленты; Устройство УКЛ-1М обеспечивает централизованное управление и контроль линий, оснащено современной микросхемой для диагностики неисправностей. Существует следующая версия АУК-2М.

АУК-1М поддерживает различные режимы управления линией (рисунок 2).

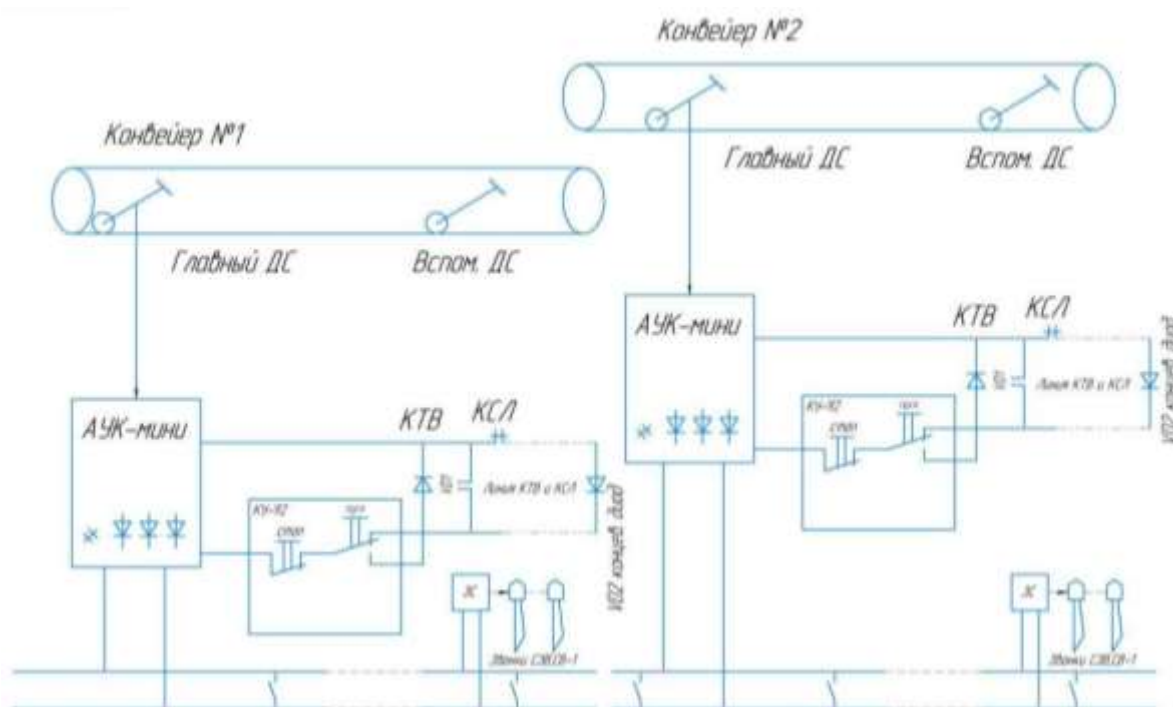


Рисунок 2 – Автоматизированная конвейерная линия

Блок-схема аппаратуры АУК-1М включает: блокировки и деблокировки конвейеров в связке с центральным процессором (ЦПУ) и аппаратурой управления (АУЗУМ), использование реле времени (РВИ-300) для увеличения контролируемого времени запуска конвейера, управление конечными конвейерами с возможностью селективного выбора точки управления, автоматизированные схемы управления с учётом загрузки, работающие в энергосберегающем режиме, с возможностью блокировки через центральную линию или альтернативные варианты.

При проектировании автоматизированных систем для конвейерных линий учитываются специфические условия эксплуатации, оптимальные схемы про-

кладки электрических линий, расположение операторских мест и другие аспекты.

Основные характеристики и возможности аппаратуры АУК после модернизации. Модернизация аппаратуры АУК-1М и разработка специализированного пульта управления ПРЛ обеспечивают значительное улучшение ключевых характеристик конвейерных систем. Модульность и совместимость с существующей инфраструктурой. Блоки и пульт управления могут монтироваться в уже установленные корпуса без изменения схем подключения между ними.

В результате применения аппаратуры АУК достигается улучшение технико-экономических показателей и оптимизируется работа всей системы: независимое включение отдельных конвейеров независимо от работы всей линии, диагностика различных функций работы конвейера; оптимизация выбора технических средств автоматического управления; снижение капитальных затрат на реализацию и внедрение автоматической системы управления конвейерами; уменьшение технологических перерывов в работе линии.

Централизованное управление пульта ПРЛ позволяет эффективно управлять основным направлением конвейера и его ответвлениями (до пяти), обслуживая до 60 конвейеров, анализ и совместимость систем. Рекомендуется использовать однородную аппаратную систему в одной конвейерной линии, но допускается смешанное применение модифицированных и не модифицированных комплексов АУК-1М. Важно обращать внимание на состояние световой индикации, особенно зелёного индикатора в блоках управления. В АУК-1М зелёный индикатор указывает на наличие напряжения питания или исправность электронного датчика при работе конвейера. В не модифицированных комплексах АУК-1М зелёный индикатор сигнализирует об аварийном отключении, вызванном человеком (через КТВ-2 или голые провода). Различие в реакции систем при замыкании на землю проводов 1 и 2 цепей управления. [2]

При эксплуатации конвейерных систем с модернизированной аппаратурой АУК следует тщательно контролировать состояние индикации, особенно зелёного индикатора, для корректной интерпретации текущего состояния системы, при необходимости смешанного использования разных версий АУК-1М важно учитывать различия в функционале и реакции на аварийные ситуации, рекомендуется проводить регулярное техническое обслуживание и обновление программного обеспечения для поддержания высокой надёжности и производительности системы.

В рамках обновления системы автоматического управления (АУ) на этапе модернизации предусмотрена возможность монтажа блоков и пультов без необходимости перекомпоновки электрических соединений, сохраняя их в исходных корпусах. Разработан специализированный пульт ПРЛ для централизованного управления разветвлёнными конвейерными линиями с возможностью включения 5 ответвлений и до 60 отдельных конвейеров. Пульт интегрирован в усовершенствованную систему АУК-1М, обеспечивая;

Значительное снижение энергоёмкости и материалоёмкости благодаря внедрению новых функциональных возможностей, к которым можно отнести независимую друг от друга работу конвейеров.

Особое внимание при анализе состояния системы следует уделять правильной интерпретации сигнала зелёного индикатора в блоке управления: Для АУК-1М (усовершенствованный вариант) горящий зелёный свет указывает на наличие питания или исправность датчиков. В неусовершенствованной версии аналогичный сигнал свидетельствует об аварийном отключении, вызванном человеческим вмешательством (через КТВ-2 или голые провода).

Кроме того, различается реакция систем на замыкание цепей 1 и 2 на землю; АУК-2М обладает схожим функционалом с усовершенствованным комплексом АУК-1М по назначению и поставке; Этот подход к модернизации существенно повышает эффективность управления конвейерами, снижая затраты на обслуживание и эксплуатацию.

Технический прогресс комплекса АУК-2М заключается в значительно расширенном функционале по сравнению с усовершенствованным АУК-1М, что включает изменение основных технических показателей и характеристик работы оборудования: использование различного рода блокировок и защитных цепей в случае сбоев в работе исполнительной аппаратуры привода конвейеров; экстренный останов конвейера по причине технологической ошибки в работе оборудования; плавный (щадящий) пуск конвейера, обеспечивающий снижение перегрузки силовых электроприводов; подача звуковой и световой сигнализации в случае возникновения ненормального режима работы оборудования; автоматическое и автоматизированное управление работой конвейеров с использованием датчиков технологической информации.

Сохранение концепции автоматизированного управления, концепция автоматизации в АУК-2М осталась на уровне АУК-1М, что обеспечивает совместимость и преемственность в управлении.

Эти нововведения в АУК-2М делают систему более надежной, эффективной и удобной в эксплуатации, обеспечивая повышенный уровень контроля и автоматизации процессов на конвейерных линиях.

Схема автоматизации конвейеров представлена на рисунке 3.

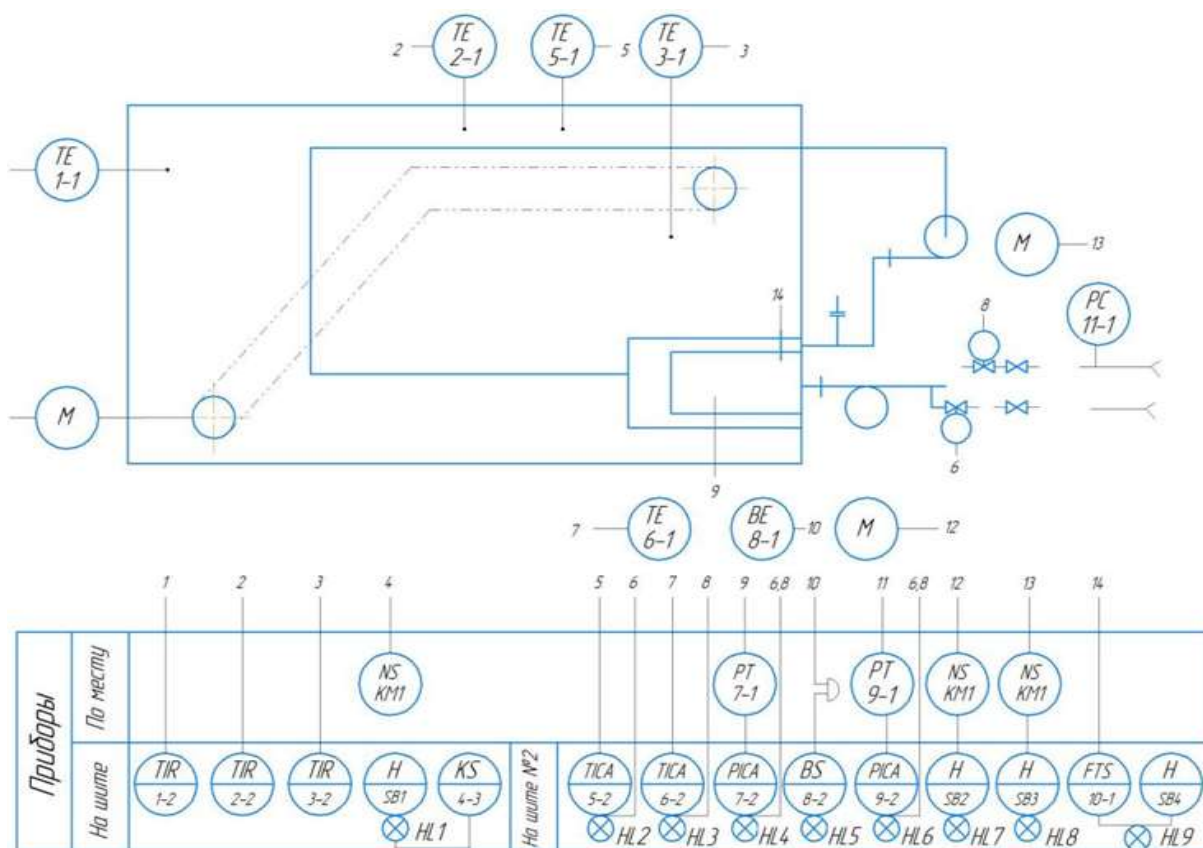


Рисунок 3 – Схема автоматизации конвейерной линии

Технические характеристики АУК-2М предусматривают следующие расширенные возможности:

- различных способов управления работой конвейеров, учитывающих текущее состояние транспортной линии, размещение товаров и изделий на ленте, нагрузку электродвигателей;
- аварийного отключения работы участковой линии в случае возникших нарушений в работе магистральной линии;
- работы конвейерной линии в одном из режимов управления: местном ручном, дистанционном ручном и(или) автоматическом;
- обеспечения безаварийной эксплуатации технологического оборудования за счет реализации повышенного уровня управления и автоматизации;
- эффективного управления за счет адаптации к существующему технологическому оборудованию.

Комплекс УКЛ предназначен для гибкого управления конвейерными линиями как по месту, так и с центрального сервера.

Комплекс реализует умный запуск конвейерной линии, предотвращая завалы перегрузочных пунктов за счет последовательного включения конвейеров против потока груза и контроля скорости принимающего конвейера. Предусмотрены различные способы остановки: оперативный (по команде оператора, персонала или датчиков), аварийный (при низкой скорости ленты и защитных отключениях) и экстренный (с мгновенным торможением при защитных отключениях), а также возможность остановки конвейерной линии (или её части) по сигналам от оператора или технологических датчиков.

Комплекс позволяет устанавливать настраиваемую задержку времени остановки конвейера при срабатывании датчиков завала или схода ленты и отслеживает номинальную скорость ленты в заданном диапазоне. Он обеспечивает сигнализацию на пультах управления, включая диагностику пульта и последовательное включение двигателей многодвигательного привода. Комплекс гарантирует работоспособность системы управления при сопротивлении утечки в линиях связи до определенного значения и обеспечивает двух стороннюю телефонную связь с селективным вызовом между оператором и пунктами установки блоков управления конвейерами и звуковыми сигнализаторами.

На рисунке 4 изображена программная работа конвейеров.[3].

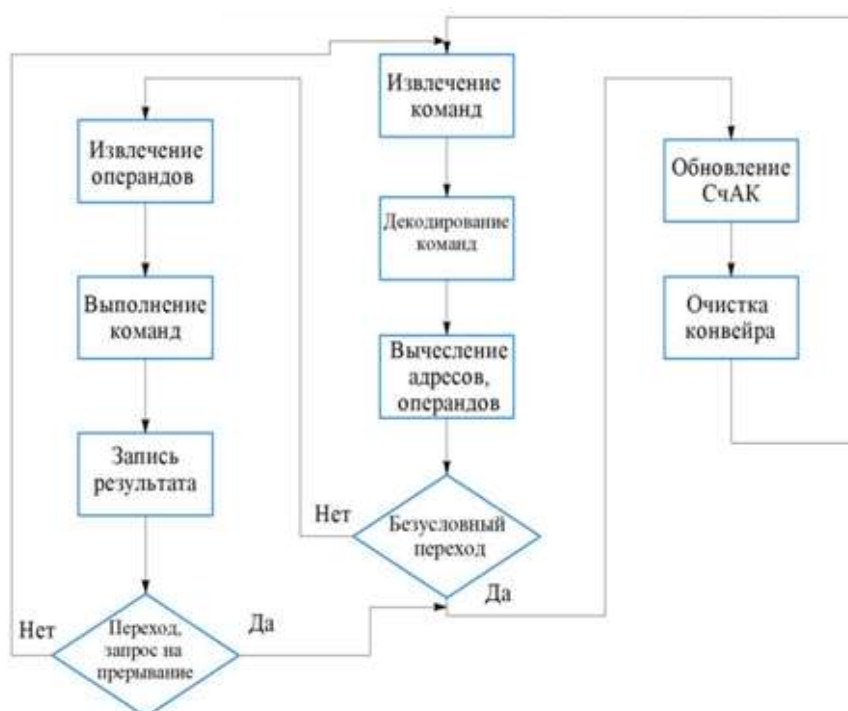


Рисунок 4 – Структурная схема алгоритма управления конвейером

В заключении отметим, в работе была рассмотрена система управления конвейерной линией на участке сортировки товаров, отличающаяся выбором модернизированной аппаратуры АУК-1М и АУК-2М.

Исходя из полученной информации можно сделать вывод, что данная автоматизированная конвейерная линия может существенно снизить затраты на электроэнергию и повысить качество процесса сортировки продукции.

Список литературы

1. Злотников, Е. Г. Автоматизированные сортировочные вертикальные транспортно-распределительные системы / Е. Г. Злотников. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2012. – № 5 (40). – С. 23-25.– URL: <https://moluch.ru/archive/40/4843/>(дата обращения: 24.03.2025).
2. Шляйхер, М. Техника автоматического регулирования для практиков / М. Шляйхер. –М.: JUMO, 2006. – 273 с.
3. Алгоритм точного перемещения грузов на физической модели сортировочного транспортера /Н.Д. Сарбасова, А.Д. Умурзакова, А.С. Гирник, С.Н.Кладиев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335, № 4. – С. 139-147.

References

1. Zlotnikov, E. G. Automated vertical sorting transport and distribution systems / E. G. Zlotnikov. – Text: direct // Young scientist. – 2012. – № 5 (40). – Pp. 23-25. – URL: <https://moluch.ru/archive/40/4843/>(accessed: 03/24/2025).
2. Schleicher, M. Automatic control technology for practitioners / M. Schleicher. - M.: JUMO, 2006. – 273 p.
3. An algorithm for the precise movement of goods on a physical model of a sorting conveyor / N.D. Sarbasova, A.D. Umurzakova, A.S. Girnik, S.N. Kladiev // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. - 2024. – Vol. 335, No. 4. – Pp. 139-147.

**РЕАЛИЗАЦИЯ СТРУКТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В САПР,
В РАМКАХ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССА**

**IMPLEMENTATION OF STRUCTURAL MODELING IN CAD,
WITHIN THE FRAMEWORK OF THE EXISTING TECHNOLOGICAL
PROCESS**

Никитин М.С., магистрант

Лапшина М.Л., д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет

имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

marina_lapshina@mail.ru

Nikitin M.S., Master's student

Lapshina M.L., Doctor of Technical Sciences, Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named

after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: Автоматизация технологического проектирования занимает важное место в современной машиностроительной индустрии. Моделирование производственных процессов предоставляет возможность оценивать и прогнозировать эффективность технологических решений, а также выявлять и устранять потенциальные узкие места задолго до начала реальной производственной деятельности.

Abstract: Automation of technological design occupies an important place in the modern machine-building industry. Production process modeling provides an opportunity to evaluate and predict the effectiveness of technological solutions, as well as identify and eliminate potential bottlenecks long before the start of actual production activities.

Ключевые слова: технология, процесс, группа, обработка, заготовка, документация.

Keywords: technology, process, group, processing, preparation, documentation.

Современное машиностроение характеризуется высоким уровнем сложности и требованиями к качеству продукции. Процессы проектирования и создания чертежей занимают большое место в производственном цикле. Традиционный ручной метод построения чертежей постепенно уступает место автоматизированным системам, которые позволяют значительно повысить скорость и точность работы. Использование средств автоматизации и моделирования станет неотъемлемым элементом современного машиностроительного производства.

Основные средства автоматизации и моделирования.

1. Системы автоматизированного проектирования (САПР) (CAD-системы) представляют собой существенное подспорье в вопросе автоматизированного подхода к процессу разработки чертежей. Часто используемые, такие как AutoCAD, SolidWorks и CATIA, направлены на оказание помощи в вопросе разработки объемных моделей, которые затем могут быть использованы для генерации чертежей. Что такое параметрическое моделирование, позволяющее изменять параметры модели без необходимости повторной черчения? Ответ на данный вопрос выглядит следующим образом – библиотеки стандартных элементов использование готовых элементов для ускорения процесса создания чертежей, а также автоматическое создание чертежей на основе трехмерных моделей [1].

Моделирование и симуляция процессов позволяют проверить работоспособность конструкции до начала производства [2]. Какие основные методы включают в себя анализ напряженно-деформированного состояния?

- гидродинамический анализ оценка поведения жидкостей и газов в конструкциях;
- термодинамический анализ исследования теплового режима работы конструкций.

Автоматизация чертежей невозможна без тесной интеграции с производственными системами. Основные аспекты интеграции включают в себя:

- передачу чертежей и моделей между различными отделами и партнерами;
- управление версиями и контроль за изменениями чертежей;
- виртуальное производство планирование и оптимизация производственных процессов на основе чертежей.

Примеры успешного применения – строительство мостов и зданий, архитектурные фирмы, такие как Skidmore, Owings & Merrill, используют моделирование для проектирования мостов и высотных зданий [3]. Симуляция ветровых нагрузок, землетрясений и других внешних воздействий помогает создать безопасные конструкции. Моделирование используется для оптимизации строительных материалов и уменьшения веса конструкций.

Производство электроники

Samsung и другие компании, занимающиеся производством электроники, активно внедряют моделирование для разработки печатных плат и электронных компонентов. Этот метод симуляции позволяет проверить электромагнитную совместимость и тепловые характеристики устройств. Благодаря моделированию становится возможным оптимизировать топологию платы и уменьшать размеры готовой продукции.

Химическая промышленность

Компании, такие как BASF и другие предприятия химической промышленности, применяют моделирование при разработке реакторов и трубопроводов. С помощью симуляции можно оптимизировать химические процессы, улучшить теплообмен и сократить выбросы вредных веществ [4]. Кроме того, моделирование используется для проверки надежности работы оборудования в экстремальных условиях.

Применение робототехники и автоматизации в современной индустрии играет важную роль. Компания KUKA Robotics активно использует моделирование в процессе проектирования роботизированных систем. С помощью симуляции специалисты могут тестировать движения робота, его взаимодействие с окружающей средой и грузоподъемность. Кроме того, моделирование позволяет оптимизировать траектории движения и предотвращать возможные столкновения.

Перспективы развития в области автоматизации включают следующие направления:

- применение искусственного интеллекта для анализа данных и оптимизации чертежей.
- использование дополненной реальности для визуализации чертежей в реальном времени.
- интеграция чертежей с производственными устройствами через технологию

Автоматизация и моделирование играют ключевую роль в процессе разработки чертежей в машиностроительной промышленности [5]. Эти средства позволяют существенно сократить время на проектирование, уменьшить вероятность ошибок и обеспечить высокое качество конечной продукции. Интеграция с производственными системами и применение новейших технологий открывают новые перспективы для дальнейшего развития этой области.

Список литературы

1. Ипатов, М.И. Организация и планирование машиностроительного производства / М.И. Ипатов, М.К. Захарова, К.А. Грачева. – М.: Высш. шк., 2023. – 367 с.
2. Кован, В.М. Основы технологии машиностроения / В.М. Кован, В.С. Корсаков, А.Г. Косилова. – М.: Машиностроение, 2017. – 416 с.
3. Пельц, Е. Семиотика и логика // Семиотика: Антология / Е. Пельц. – М.: Деловая книга, 2021. – 702 с.
4. Рябов, С.А. Выбор оборудования для реализации технологических процессов в условиях различной серийности производства / С.А. Рябов. – Кумерово : КузГТУ, 2021. – 210с.
5. Соколовский, А.П. Научные основы технологии машиностроения. – М., Машгиз, 1955. – 517 с.

References

1. Ipatov, M.I. Organization and planning of machine-building production / M.I. Ipatov, M.K. Zakharova, K.A. Gracheva. – M.: Higher School, 2023. – 367 p.
2. Kovan, V.M. Fundamentals of mechanical engineering technology / V.M. Kovan, V.S. Korsakov, A.G. Kosilova. – M. : Mashinostroenie, 2017. – 416 p.
3. Pelts, E. Semiotics and logic // Semiotics: Anthology / E. Pelts. – M.: Business Book, 2021. – 702 p.
4. Ryabov, S.A. The choice of equipment for the implementation of technological processes in conditions of different serial production / S.A. Ryabov. – Kumerovo : KuzSTU, 2021. – 210с.
5. Sokolovsky, A.P. Scientific foundations of mechanical engineering technology. Moscow, Mashgiz, 1955. 517 p.

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗАЦИИ
СИСТЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ
METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE AUTOMATION OF WATER
TREATMENT SYSTEMS**

Никитина А.Д., магистрант

Лапшина М.Л., д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

marina_lapshina@mail.ru

Nikitina A.D., Master's student

Lapshina M.L., Doctor of Technical Sciences, Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: в работе представлены ключевые методологические аспекты решения вопроса автоматизации системы управления насосной станцией, приведены цели автоматизации, систематизирована методологическая составляющая данного вопроса, а также обоснована возможность использования принципа искусственного интеллекта в вопроса автоматизации систем управления насосной станцией.

Abstract: the paper presents the key methodological aspects of solving the issue of automation of the pumping station control system, presents the goals of automation, systematizes the methodological component of this issue, and substantiates the possibility of using the principle of artificial intelligence in the automation of pumping station control systems.

Ключевые слова: водоснабжение, контроллер, методология, система, управление

Keywords: water supply, controller, methodology, system, management

Процесс автоматизации представляет собой объединение целого ряда теоретических и методологических исследований, направленных на работу сложной технической системы в автоматическом режиме по своему прямому назначению, в нашем случае мы говорим о системе городского водоснабжения [1, 2]. Отличительным моментом в системах с автоматизацией является присутствие принципа обратной связи, т.е. измерения конкретной переменной производятся с использованием датчиков, затем правильность проведенных измерений подтверждается с использованием информационных технологий, при помощи соответствующего вычислительного алгоритма устанавливается, что из структурных элементов, линии автоматизации, требует ремонта, затем одно из устройств, например насос, на следующем этапе полученное решение интегрирует в практические процессы. Все вышеперечисленные этапы, производятся без человеческого присутствия.

Нужно отметить, что процесс автоматизации тесно переплетается с профессионализмом и пониманием сути процессов пользователем на всех этапах [3]. Иначе, вся система автоматизации будет находиться в полном диссонансе с глобальной задачей, стоящей перед компанией.

Хотелось бы выделить три вида задач, подлежащих разрешению с непосредственным участием автоматизации – это неопределенность, обратная связь и сложность. Заметим, что глобальной проблемой будет решение задач с возмущениями. Устойчивая работа такой сложной технической системы, как работа городской инфраструктуры может быть обеспечена только посредством комплексного управления водным циклом всего многомиллионного города.

Автоматизация управления насосной станции представляет собой важный элемент современного промышленного и коммунального хозяйства, позволяющий повысить эффективность и надежность процессов очистки воды.

Качественная работа насосной станции играет ключевую роль в обеспечении населения и промышленности качественной водой. Процесс включает в себя множество этапов, начиная от забора воды из природных источников и заканчивая доведением её до нормативных показателей [1]. Традиционная ручная организация и контроль этих процессов недостаточно эффективны в условиях увеличивающегося спроса на воду и ужесточающихся нормативов качества. Поэтому внедрение автоматизированных систем становится необходимым условием для устойчивого развития водного хозяйства.

Основные цели автоматизации

Автоматизация системы управления работой насосной станции преследует следующие основные цели:

1. Повышение надежности. Устранение человеческого фактора и автоматизация контроля критических параметров позволяет избежать ошибок и сбоев, приводящих к ухудшению качества воды.
2. Оптимизация энергозатрат. Автоматизация позволяет рационально распределять ресурсы, что снижает потребление энергии и уменьшает эксплуатационные расходы.
3. Улучшение качества воды. Системы автоматического контроля обеспечивают стабильность и соответствие воды установленным стандартам, независимо от колебаний исходных параметров.
4. Экономия времени и ресурсов. Оптимизация производственных процессов сокращает время обработки воды и минимизирует расход реагентов.

Методологические подходы к автоматизации

1. Комплексный подход

Автоматизация систем управления работой насосной станции требует комплексного подхода, охватывающего все аспекты технологического процесса. Это включает в себя:

- Проектирование и моделирование. Разработка математических моделей, симуляторов, виртуальных прототипов для анализа и оптимизации процессов.
- Мониторинг и диагностика. Внедрение датчиков и систем сбора данных для постоянного наблюдения за параметрами воды и оборудования.
- Управление и регулирование. Применение алгоритмов управления для поддержания стабильности параметров в реальном времени.

2. Системный анализ

Системный анализ позволяет оценить влияние различных факторов на процесс работы станции и выявить потенциальные узкие места [4]. Такой подход помогает разработать стратегии для повышения эффективности и устойчивости системы. Ключевыми методами системного анализа являются:

- Имитационное моделирование. Создание цифровых двойников для тестирования различных сценариев и поиска оптимальных решений.
- Анализ рисков. Идентификация потенциальных угроз и разработка мер по их устранению.

3. Принцип обратной связи

Принцип обратной связи предполагает постоянный мониторинг и коррекцию параметров системы на основе полученных данных. Это достигается через:

- Регулярные измерения. Установка сенсоров для получения оперативной информации о состоянии воды и оборудования.
- Алгоритмы коррекции. Применение интеллектуальных алгоритмов для автоматической настройки параметров в зависимости от текущей ситуации.

4. Искусственный интеллект и компьютерное обучение

Применение методов искусственного интеллекта и компьютерного обучения открывает новые перспективы в автоматизации системы управления работой насосной станции. Эти методы позволяют:

- Прогнозировать изменения. Модели на основе данных помогают предсказывать колебания параметров воды и заранее принимать меры.
- Оптимизировать процессы. Машинное обучение позволяет находить наилучшие режимы работы оборудования и расходования ресурсов.

Методологические подходы к автоматизации системы управления работой насосной станцией играют важную роль в повышении эффективности и надежности процессов очистки воды [5]. Комплексный подход, системный анализ, принцип обратной связи и использование искусственного интеллекта способствуют созданию устойчивых и гибких систем, способных адаптироваться к изменяющимся условиям и требованиям. Дальнейшие исследования в области автоматизации позволят еще больше улучшить качество воды и снизить затраты на её очистку.

Список литературы

1. Здор, Г.Н. Автоматическое управление группой насосных агрегатов с целью снижения затрат электроэнергии / Г.Н. Здор, А.В. Сеницын, О.А. Аврутин // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2021. – №1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomaticheskoe-upravlenie-grupпой-nasosnyh-agregatov-s-tselyu-snizheniya-zatrat-elektroenergii> (дата обращения: 14.03.2025).
2. Титоренко, Г.А. Информационные технологии управления / Г.А. Титоренко. – М.: ЮНИТИ, 2023. – 268 с.
3. Карабутов, Н.Н. Информационные технологии в экономике / Н.Г. Курабутов. – М: Экономика, 2023. – 208 с.

4. Кастальский, А.К. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения / А.К. Кастальский, Д.М. Минц. – М.: Высшая школа, 2022. – 354 с.

5. Козырев, А.А. Информационные технологии в экономике и управлении / А.А. Козырев. – СПб.: Изд-во Михайлова, 2020. – 310 с.

References

1. Zdorov, G.N. Automatic control of a group of pumping units in order to reduce electricity costs / G.N. Zdorov, A.V. Sinitsyn, O.A. Avrutin // Energy. Izvestia of higher educational institutions and energy associations of the CIS. – 2021. – No. 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomaticheskoe-upravlenie-gruppy-nasosnyh-agregatov-s-tselyu-snizheniya-zatrat-elektroenergii> (date accessed: 03.14.2025).

2. Titorenko, G.A. Information management technologies / G.A. Titorenko. – М.: UNITY, 2023. – 268 p.

3. Karabutov, N.N. Information technologies in economics / N.G. Karabutov, Moscow: Economics. 2023. – 208 p.

4. Kastalsky, A.K. Preparation of water for drinking and industrial water supply / A.K. Kastalsky, D.M. Mints. – М.: Higher School, 2022. – 354 p.

5. Kozyrev, A.A. Information technologies in economics and management / A.A. Kozyrev. – St. Petersburg : Mikhailov Publishing House, 2020. – 310 p.

**О РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИКИ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ
VNIR-ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИБОРАМИ НА СТАЦИОНАРНОЙ БАЗЕ
ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ОЦЕНКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ И ПОЧВЕННЫХ
ОБЪЕКТОВ**

**ON THE DEVELOPMENT OF A TECHNIQUE FOR DETECTING VNIR-
IMAGES WITH INSTRUMENTS ON A STATIONARY BASE FOR REMOTE
SENSING ASSESSMENT OF PLANT AND SOIL OBJECTS**

Новиков А.И., д.т.н., ведущий научный сотрудник
Комаров А.А., д.с.-х.н., главный научный сотрудник
Агрофизический научно-исследовательский институт

г. Санкт-Петербург, Россия

Arthur.Novikov@agrophys.ru

Новикова Т.П., к.т.н., доцент
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»
г. Воронеж, Россия

Чесноков Ю.В., д.б.н., член-корреспондент РАН
Агрофизический научно-исследовательский институт
г. Санкт-Петербург, Россия

Novikov A.I., Doctor of Technical Sciences, leading researcher
Komarov A.A., Doctor of Agriculture Sciences, main researcher
Agrophysical Research Institute
St. Petersburg, Russia

Novikova T.P., CSc (Engineering), Associate Professor
FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov»
Voronezh, Russian Federation

**Chesnokov Yu.V., Doctor of Biology Sciences, Professor, Corresponding
Member of the Russian Academy of Sciences**
Agrophysical Research Institute
St. Petersburg, Russia

Аннотация: В исследованиях дистанционных технологий точного земледелия недостаточно полно представлена информация об оценке состояния растений и почв, основанной на сопряженных ДЗЗ- и наземных измерениях. Разработка методики выбора технических средств в зависимости от целей и задач таких исследований, а также из условий проведения (в стационарном или динамическом режимах), позволит проводить как априорный, так и апостериорный анализы растительных и почвенных объектов.

Summary: In the R&D of remote technologies of precision agriculture, information on the assessment of the state of plants and soils based on coupled remote sensing and ground measurements is not fully presented. The development of a methodology for selecting technical means, depending on the goals and objectives of such studies, as well as on the conditions (in stationary or dynamic modes), will allow for both a priori and a posteriori analysis of plant and soil objects.

Ключевые слова: точное земледелие, дистанционная оценка, захват VNIR-изображения, детектирующая система, автоматизация, управление, почва, растение.

Keywords: smart farming, precision agriculture, remote sensing, VNIR image capture, detection system, automation, control, soil, plant.

В структуре мероприятий по культуртехнической мелиорации агролесных ландшафтов автоматизированная система для обнаружения и идентификации спектрального отклика поверхности почвы и проекции растения на стрессоры (температуру, влажность, зараженность вредителями или болезнями и т.п.) или на агротехнологии для повышения продуктивности (внесение удобрений, обработка биопрепаратами и т.п.), которая бы оценивала состояние всего поля, позволила бы увеличить фактическую площадь обследования и, таким образом, повысить вероятность выявления очагов воздействия, сократить количество человеко-часов, необходимых для обследования, и повысить точность идентификации отклика [1]. Автоматизированная система может генерировать пространственное распределение отклика по воздействию внешних факторов для разработки точных тактических приёмов для возможного управления процессом онтогенеза культур.

Аграрная и лесная отрасли выиграли бы от автоматизированного метода раннего обнаружения, который помог бы фермерам и лесоведам принимать своевременные управленческие решения и оптимизировать воздействие на культуры в поле [2,3]. Технологические достижения в области компьютерного

зрения, мехатроники, искусственного интеллекта и машинного обучения [4] позволили разработать и внедрить методики захвата изображения в оптическом [5-7], рентгеновском и других диапазонах длины волны. Эти методики возможны к использованию для различения множества похожих насекомых [8], симптомов заболеваний [8] и сорняков [9].

Для фенотипирования растений и выявления болезней было разработано несколько методов, основанных на применении беспилотного летательного аппарата (БПЛА) [10] в качестве борта для перемещения полезной нагрузки в виде детектирующей системы получения изображений. Ампатзидис и Партел [11] разработали высокопроизводительную систему фенотипирования цитрусовых культур на основе БПЛА с использованием машинного обучения и искусственного интеллекта, которая может точно обнаруживать и подсчитывать цитрусовые деревья, измерять размер их кроны, подсчитывать промежутки между деревьями и создавать карты состояния здоровья отдельных деревьев с помощью нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI). Кальдерон и др. [12] отслеживали развитие вертициллёзного увядания на оливковых деревьях с помощью различных типов систем захвата изображения (тепловизионных, гиперспектральных и мультиспектральных), установленных на борту БПЛА. Они рассчитывали концентрацию хлорофилла ($a + b$) и индексы каротиноидов ($B/G/R$) для мониторинга водного стресса, поскольку поток воды блокируется патогеном *Verticillium wilt*, который колонизирует сосудистую систему и в конечном итоге приводит к водному стрессу. Хуан и др. [13] дистанционно, с помощью установленной на борту квадоторного БПЛА Phantom 4 (DJI Co., Шэньчжэнь, Китай) стандартной RGB-системы захвата изображения, обследовали поля пшеницы, поражённые пятнистостью листьев, вызванной гельминтоспориозом, на четырёх стадиях развития болезни, чтобы определить заражённую территорию и разработать новые методы опрыскивания. Абдулриджа и др. [14] разработали метод спектрального дистанционного (10 м) детектирования для раннего выявления увядания лавровых деревьев на растениях авокадо с помощью двух видов полезной нагрузки – мультиспектральной камеры Tetra mini (Tetracam, Inc., Калифорния, США) и гиперспектральных и модифицированной камеры Canon SX260 NDVI (Canon U.S.A., Inc., Мелвилл, Нью-Йорк, США), установленных на базе подъемного крана. Калибровка систем захвата изображения проводилась в полевых условиях с использованием белой (отражающая способность 99%) и чёрной (отражающая способность 1%) панелей. Они оце-

нили несколько индексов растительности (VI) для раннего выявления увядания лавра и достигли общей точности выявления более 95%.

Таким образом, использование инструментальных детектирующих систем захвата изображения в V-NIR спектральном диапазоне длины электромагнитной волны, базирующихся как на динамической (БПЛА) [11-13], так и на стационарной платформах [14], позволит осуществлять раннюю диагностику и прогнозирование, а также последующие анализ и планирование мероприятий как по повышению продуктивности агрокультур, так и по культуртехнической мелиорации ландшафтов.

Однако в настоящее время отсутствует стандартизированная методика и существует достаточно мало информации об оценке состояния растений и почв, основанная на сопряженных дистанционных (ДЗЗ-) и наземных измерениях.

С целью разработки стандартной методики мониторинга состояния растительных и почвенных объектов в динамике их развития предлагается сформировать стационарную систему оценки с помощью V-NIR изображений и сопряженных наземных измерений на идентификационных полевых площадках.

Укрупненно методика инструментального детектирования состояния растительных и почвенных объектов на основе V-NIR изображений будет включать:

- 1) Формирование элементарных площадок площадью 1 м² оценки состояния растительного и почвенного покрова.
- 2) Разработку достаточных для цели эксперимента режимов захвата изображения оцениваемых площадок в разных условиях светового режима с выходом на стандарт (первый стандарт);
- 3) Разработку достаточных для цели эксперимента высотных параметров (высоты над поверхностью оцениваемого растительного или почвенного объекта) для фиксированного положения системы захвата изображений (полезной нагрузки) над стационарными площадками площадью 1 м² (второй стандарт).
- 4) Апробацию методики в полевых условиях.

При этом важно, исходя из целей и задач полевого эксперимента, а также из условий проведения, сформировать следующий алгоритм выбора технических средств:

1. Выбор системы захвата изображения (полезной нагрузки) исходя из целей конкретного полевого эксперимента на основании соответствующей методики

2. Выбор стационарного или динамического типов базового носителя системы захвата изображения (полезной нагрузки) в зависимости от целей и условий проведения полевого эксперимента

3. Определение минимаксного диапазона дистанции N детектирующей системы захвата изображения (полезной нагрузки) от объекта

4. Определение тарифовочных параметров детектирующей системы захвата изображения (полезной нагрузки) для сглаживания «белого шума»

5. Определение уровня точности (разрешения) детектирующей системы захвата изображения (полезной нагрузки) в зависимости от целей полевого эксперимента

6. Унификация условий приведения параметров детектирующей системы захвата изображения и освещенности объекта к единому критерию сравнения.

7. Определение методики и критерия дешифрирования данных системы захвата изображения.

8. Разбивка поля, координатная привязка.

9. Разработка схемы подвеса и крепления системы захвата изображения на платформе стационарного типа, или при необходимости и возможности, разработка полетного задания для борта БПЛА, согласование плана полетов борта БПЛА с Федеральным агентством воздушного транспорта (Росавиацией).

10. ДЗЗ-измерения сегментированных участков поля с помощью системы захвата изображения, установленной на стационарной или динамической базовой платформах, в сроки и на месте, определенном соответствующей утвержденной методикой полевого опыта.

11. Дешифрирование и преобразование ДЗЗ-данных в цифровой формат для последующего статистического и математического анализов.

Таким образом, детектирование и сравнение почвенных и растительных объектов по сегментированным V-NIR изображениям, полученным на определенной дистанции приборами на стационарной базе с использованием существующих и разрабатываемых новых спектральных индексов в сопряжении с наземными измерениями, позволит проводить как априорный, так и апостериорный анализы чувствительности оценки к изменению свойств системы «почва – агрокультура» в ответ на воздействие внешних факторов.

Список литературы

1. Luvisi, A. Plant pathology and information technology: Opportunity for management of disease outbreak and applications in regulation frameworks / A. Luvisi, Y.G. Ampatzidis, L.De Bellis // Sustainability. – 2016. – Vol. 8(8). – P. 831. – DOI: 10.3390/su8080831.
2. Картирование QTL у яровой мягкой пшеницы (*Triticumaestivum*L.) в контролируемых условиях агроэкобиополигона / Ю.В. Чесноков, Г.В. Мирская, Е.В. Канапш [и др.] // Физиология растений. – 2017. – Т. 64, № 1. – С. 55-68. – DOI: 10.7868/S0015330316060026.
3. Комаров, А.А. Анализ пространственных распределений урожайности для обоснования дифференциации агротехнологии / А. А. Комаров, Ю. Г. Захарян, А. Д. Кирсанов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 47. – С. 48-57.
4. Deep-learning approach for fusarium head blight detection in wheat seeds using low-cost imaging technology / R.C. Bernardes, A. De Medeiros, L. Da Silva [et al.] // Agriculture. – 2022. – Vol. 12, No. 11. – P. 1801. – DOI: 10.3390/agriculture12111801.
5. Detection of Scots pine single seed in optoelectronic system of mobile grader: mathematical modeling / A.I. Novikov, V.I. Lisitsyn, M. Tigabu [et al.] // Forests. – 2021. – Vol. 12, No. 2. – P. 1-18. – DOI: 10.3390/f12020240.
6. Новиков, А.И. Экспресс-анализ лесных семян биофизическими методами : монография / А.И. Новиков. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2018. – 128 с.
7. Соколов, С.В. Новые оптоэлектронные системы экспресс-анализа семян в лесохозяйственном производстве / С.В. Соколов, А.И. Новиков // Лесотехнический журнал. – 2019. – Т. 9, № 2(34). – С. 5-13. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/1.
8. Detection of grapevine yellows symptoms in *Vitis vinifera* L. with artificial intelligence / A.Cruz, Y. Ampatzidis, R. Pierro [et al.]// Computers and Electronics in Agriculture. –2019.– Vol. 157. – Pp. 63-76.– DOI: 10.1016/j.compag.2018.12.028.
9. Automated vision-based system for monitoring Asian citrus psyllid in orchards utilizing artificial intelligence / V.Partel, L.Nunes, P.Stansly, Y.Ampatzidis // Computer and Electronics in Agriculture. –2019.– Vol. 162. –Pp. 328-336.
10. Sokolov, S.V. Adaptive estimation of UVs navigation parameters by irregular inertial-satellite measurements / S.V. Sokolov, A.I. Novikov //International

Journal of Intelligent Unmanned Systems. – 2020. – Article 0056. – DOI: 10.1108/IJIUS-10-2019-0056.

11. Ampatzidis, Y. UAV-based high throughput phenotyping in citrus utilizing multispectral imaging and artificial intelligence / Y.Ampatzidis, , V.Partel //Remote Sensing. –2019. – Vol. 11(4). – P. 410.– DOI: 10.3390/rs11040410.

12. High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early, detection of verticillium wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices / R.Calderon [et al.]//Remote Sensing of Environment. – 2013. – Vol. 139. – Pp. 231-245.– DOI: 10.1016/j.rse.2013.07.031.

13. Detection of helminthosporium leaf blotch disease based on UAV imagery / H.S.Huang, J.Z.Deng, Y.B.Lan [et al.]// Applied Sciences-Basel.– 2019. – Vol. 9(3). – P. 558. – DOI: 10.3390/app9030558.

14. A remote sensing technique for detecting laurel wilt disease in avocado in presence of other biotic and abiotic stresses / J.Abdulridha, R. Ehsani, A. Abd-Elrahma, Y. Ampatzidis // Computers and Electronics in Agriculture. –2019. Vol. 156. – Pp. 549-557. – DOI: 10.1016/j.compag.2018.12.018.

References

1. Luvisi, A. Plant pathology and information technology: Opportunity for management of disease outbreak and applications in regulation frameworks / A. Luvisi, Y.G. Ampatzidis, L.De Bellis // Sustainability. – 2016. – Vol. 8(8). – P. 831. – DOI: 10.3390/su8080831.

2. QTL mapping in spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) under controlled conditions of agroecobiopolygon / Yu.V. Chesnokov, G. V. Mirskaya, E. V. Kanash [et al.] // Plant Physiology. – 2017. – Vol. 64, No. 1. – Pp. 55-68. – DOI: 10.7868/S0015330316060026

3. Komarov, A.A. Analysis of spatial distributions of yields to substantiate the differentiation of agricultural technology / A. A. Komarov, Yu. G. Zakharan, A.D. Kirsanov // Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University. –2017. – No. 47. – Pp. 48-57.

4. Deep-learning approach for fusarium head blight detection in wheat seeds using low-cost imaging technology / R.C. Bernardes, A. De Medeiros, L. Da Silva [et al.] // Agriculture. – 2022. – Vol. 12, No. 11. – P. 1801. – DOI: 10.3390/agriculture12111801.

5. Detection of Scots pine single seed in optoelectronic system of mobile grader: mathematical modeling / A.I. Novikov, V.I. Lisitsyn, M. Tigabu [et al.] // *Forests*. – 2021. – Vol. 12, No. 2. – P. 1-18. – DOI: 10.3390/f12020240.
6. Novikov, A.I. Express analysis of forest seeds by biophysical methods : a monograph / A.I. Novikov. – Voronezh : Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2018. – 128 p.
7. Sokolov, S.V. New optoelectronic systems for rapid seed analysis in forestry production / S.V. Sokolov, A.I. Novikov // *Forestry Journal*. – 2019. – Vol. 9, No. 2(34). – Pp. 5-13. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/1.
8. Detection of grapevine yellows symptoms in *Vitis vinifera* L. with artificial intelligence / A.Cruz, Y. Ampatzidis, R. Pierro [et al.] // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2019. – Vol. 157. – Pp. 63-76. – DOI: 10.1016/j.compag.2018.12.028.
9. Automated vision-based system for monitoring Asian citrus psyllid in orchards utilizing artificial intelligence / V.Partel, L.Nunes, P.Stansly, Y.Ampatzidis // *Computer and Electronics in Agriculture*. – 2019. – Vol. 162. – Pp. 328-336.
10. Sokolov, S.V. Adaptive estimation of UAVs navigation parameters by irregular inertial-satellite measurements / S.V. Sokolov, A.I. Novikov // *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*. – 2020. – Article 0056. – DOI: 10.1108/IJIUS-10-2019-0056.
11. Ampatzidis, Y. UAV-based high throughput phenotyping in citrus utilizing multispectral imaging and artificial intelligence / Y.Ampatzidis, V. Partel // *Remote Sensing*. – 2019. – Vol. 11(4). – P. 410. – DOI: 10.3390/rs11040410.
12. High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early, detection of verticillium wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices / R.Calderon [et al.] // *Remote Sensing of Environment*. – 2013. – Vol. 139. – Pp. 231-245. – DOI: 10.1016/j.rse.2013.07.031.
13. Detection of helminthosporium leaf blotch disease based on UAV imagery / H.S.Huang, J.Z.Deng, Y.B.Lan [et al.] // *Applied Sciences-Basel*. – 2019. – Vol. 9(3). – P. 558. – DOI: 10.3390/app9030558.
14. A remote sensing technique for detecting laurel wilt disease in avocado in presence of other biotic and abiotic stresses / J. Abdulridha, R. Ehsani, A. Abd-Elrahma, Y. Ampatzidis // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2019. Vol. 156. – Pp. 549-557. – DOI: 10.1016/j.compag.2018.12.018.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СЕРВИСНЫМ ЦЕНТРОМ
ПО РЕМОНТУ И ОБСЛУЖИВАНИЮ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ
АГРАРНОГО И ЛЕСНОГО ПРОФИЛЕЙ
AUTOMATION OF THE MANAGEMENT OF A SERVICE CENTER
FOR THE REPAIR AND MAINTENANCE OF MACHINERY AND
EQUIPMENT OF AGRICULTURAL AND FORESTRY PROFILES**

Новикова Т.П., к.т.н., доцент

Евдокимова С.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

Novikova_tp.vglta@mail.ru

Новиков А.И., д.т.н., ведущий научный сотрудник

Агрофизический научно-исследовательский институт

г. Санкт-Петербург, Россия

Novikova T.P., CSc (Engineering), Associate Professor

Evdokimova S.A., CSc (Engineering), Associate professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Novikov A.I., Doctor of Technical Sciences, Leading researcher

Agrophysical Research Institute

St. Petersburg, Russia

Аннотация: В статье рассматриваются особенности предметной области и возможности по автоматизации управления сервисным центром по ремонту и обслуживанию машин и оборудования аграрного и лесного секторов; предложены: реляционная модель базы данных для сервисного центра, алгоритм управления.

Summary: The article discusses the features of the subject area under consideration and the possibilities for automating the management of a service center for the

repair and maintenance of machinery and equipment in the agricultural and forestry sectors; it offers: a relational database model for a service center, a management algorithm.

Ключевые слова: автоматизация, управление, машины и оборудование, точное земледелие.

Keywords: automation, control, machinery and equipment, smart farming.

Машины и оборудование, а именно тракторы, плуги, бороны и т.п., используемые в сельском и лесном хозяйстве, имеют ряд особенностей, как конструктивного плана, так и области применения, в связи с чем проблема ремонта и обслуживания (Р и О) таких машин будет отличаться от Р и О легкового и грузового автомобильного транспорта. Если для последней группы существует развитая сеть дилерских центров и частных мастерских, которые способны решить любую проблему по Р и О, то для машин и оборудования аграрного и лесного профилей, в связи с рядом особенностей (удаленность парка от крупных населенных пунктов, конструктивные особенности машин, сезонная загрузка парка машин и оборудования), обращение в дилерский центр или ремонтную мастерскую, будет затруднительно. Поэтому создание и развитие сервисных центров по Р и О машин и оборудования аграрного и лесного профилей является актуальной и в данной работе было уделено внимание автоматизации управления таким сервисным центром.

Были проанализированы некоторые программные продукты (таблица 1), которые могли бы автоматизировать работу небольшого или среднего сервисного центра. ПО для дилерских центров или крупных сервисных центров были рассмотрены ранее [1].

Таблица 1 – Результаты анализа ПО для сервисных центров

Критерии	Приложения		
	РемОнлайн	HelloClient	Gincore
Доступ из веб браузера	+	+	+
Бесплатное распространение	-	-	-
Возможность отслеживать перемещения заказа между подразделениями	-	-	-
Прикрепление файлов к заказу	-	-	-
Неограниченное количество мастерских и сотрудников	-	+	+

Результаты анализа представлены в таблице 1, однако их функционал затрагивает автоматизацию учетных механизмов и не решает проблем управления.

Для автоматизации управления сервисным центром необходимо разработать алгоритм управления информационной системой, который бы учитывал наличие баз данных, как о самом сервисном центре и его функциях, так и о машинах и оборудовании. На рисунке 1 представлена реляционная модель для сервисного центра.

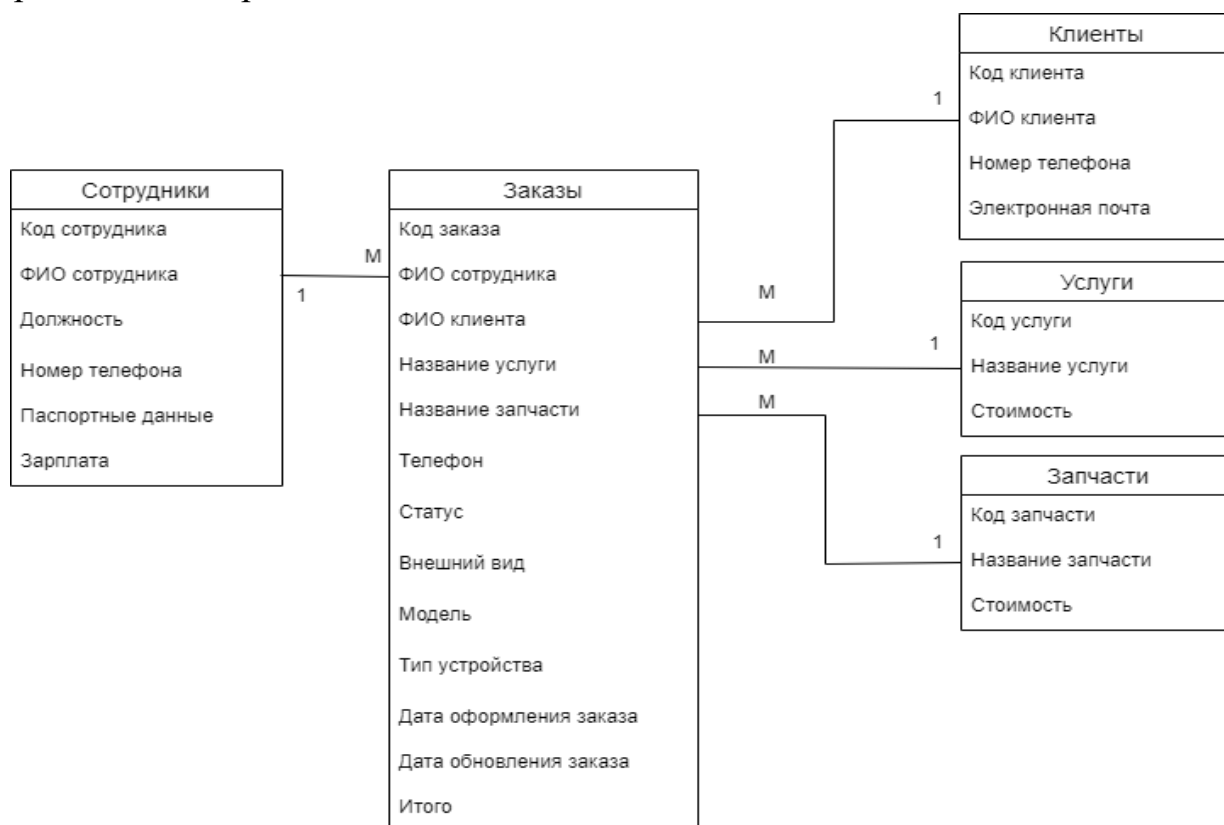


Рисунок 1 –Реляционная модель базы данных для сервисного центра

В таблице 2 приведен фрагмент таблицы из базы данных «Технологические операции, машины и механизмы, используемые в процессе восстановления лесных ландшафтов» [2], которая бы обеспечивала повышение эффективности управления сервисным центром за счет справочной информации о машинах и оборудовании, а также технологических операциях выполняемых ими [3-5].

На рисунке 2 представлен упрощенный алгоритм управления информационной системой, в основе которой лежат модели и базы данных, представленные ранее.

Таблица 2 – Энергетические средства, используемые в процессе восстановления лесных ландшафтов

Код	Тип шасси	Наименование трактора /машины	Тяговый класс энергетического средства, кН
1	Трактор на колесном шасси	Трактор МТЗ-82 Д-240	14 кН
2	Трактор на колесном шасси	Трактор МТЗ-82.1	14 кН
3	Трактор на колесном шасси	Трактор МТЗ-82.1.57	14 кН
4	Трактор на колесном шасси	Трактор Агромаш 50 СШ-10	14 кН
5	Трактор на колесном шасси	Трактор Беларусь-82.1	9 кН
6	Трактор на колесном шасси	Трактор МТЗ-82.1.22	14 кН
7	Трактор на колесном шасси	Трактор МТЗ-82	14 кН
8	Трактор на колесном шасси	Трактор "Беларус-826"	9 кН

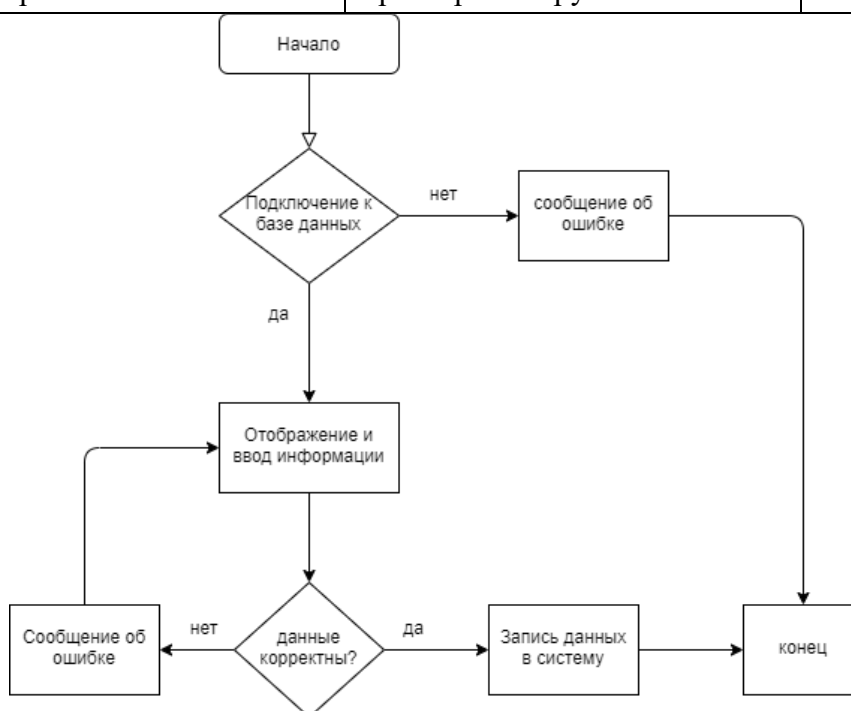


Рисунок 2 – Алгоритм управления информационной системой сервисного центра

Таким образом, для автоматизации управления сервисным центром по обслуживанию и ремонту специализированных машин и оборудования, используемых в сельском и лесном хозяйствах, необходимо владеть большим объемом справочной информации о машинах и оборудовании, а также их функциях при выполнении различных технологических операций, в том числе данная информация должна быть современной и актуальной, а базы данных должны содержать информацию и о новом оборудовании [6] в рассматриваемых отраслях.

Список литературы

1. Программное обеспечение для управления системой технического обслуживания и ремонта лесных машин: оценка применимости / А.Н. Заикин, В.В. Сиваков, Т.П. Новикова [и др.] // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13, № 2(50). – С. 105-127. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2023.2/6.

2. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025620063 Российская Федерация. Технологические операции, машины и механизмы, используемые в процессе восстановления лесных ландшафтов : заявл. 08.12.2024 : опубл. 09.01.2025 / Т.П. Новикова, Е.П. Петрищев, С.А. Евдокимова, А.И. Новиков ; заявитель ФГБОУ ВО«Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова».

3. Новикова, Т.П. Исследование набора технологических операций подготовки семенного материала хвойных пород для лесовосстановления / Т.П. Новикова // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11, № 4(44). – С. 150-160. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.4/13.

4. Scots pine seedlings growth dynamics data reveals properties for the future proof of seed coat color grading conjecture / A.I. Novikov, T.P. Novikova, E. Petrishchev, V. Ivetić // Data. – 2019. – Vol. 4, No. 3. – P. 106. – DOI: 10.3390/data4030106.

5. Новиков, А.И. Дисковые сепараторы семян в лесохозяйственном производстве / А.И. Новиков. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2017. – 159 с.

6. Соколов, С.В. Новые оптоэлектронные системы экспресс-анализа семян в лесохозяйственном производстве / С.В. Соколов, А.И. Новиков // Лесотехнический журнал. – 2019. – Т. 9, № 2(34). – С. 5-13. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/1.

References

1. Software for managing the system of maintenance and repair of forest machinery: an assessment of applicability / A.N. Zaikin, V.V. Sivakov, T.P. Novikova [et al.] // Forestry Journal. – 2023. – Vol. 13, No. 2(50). – pp. 105-127. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2023.2/6.

2. Certificate of State registration of the database No. 2025620063 Russian Federation. Technological operations, machines and mechanisms used in the process of restoring forest landscapes : application 08.12.2024 : published 09.01.2025 / T.P.

Novikova, E.P. Petrishchev, S.A. Evdokimova, A.I. Novikov ; applicant Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov.

3. Novikova, T.P. Investigation of a set of technological operations for the preparation of coniferous seed material for reforestation / T.P. Novikova // Forestry Engineering Journal. – 2021. – Vol. 11, No. 4(44). – pp. 150-160. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.4/13 .

4. Scots pine seedlings growth dynamics data reveals properties for the future proof of seed coat color grading conjecture / A.I. Novikov, T.P. Novikova, E. Petrishchev, V. Ivetić // Data. – 2019. – Vol. 4, No. 3. – P. 106. – DOI: 10.3390/data4030106.

5. Novikov, A.I. Disk seed separators in forestry production / A.I. Novikov. – Voronezh : Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2017. –159 p.

6. Sokolov, S.V. New optoelectronic systems for rapid seed analysis in forestry production / S.V. Sokolov, A.I. Novikov // Forestry Journal. – 2019. – Vol. 9, No. 2(34). – Pp. 5-13. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/1.

**О ПРИМЕНЕНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
УПРАВЛЕНИЯ В ТОЧНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ В УСЛОВИЯХ
ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**
**ON THE APPLICATION OF AUTOMATED CONTROL TECHNOLOGIES
IN PRECISION AGRICULTURE IN THE CONTEXT OF CLIMATE
CHANGE**

Новикова Т.П., к.т.н., доцент

Евдокимова С.А., к.т.н., доцент

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

Novikova_tp.vglta@mail.ru

Новиков А.И., д.т.н., ведущий научный сотрудник

Агрофизический научно-исследовательский институт

г. Санкт-Петербург, Россия

Novikova T.P., CSc (Engineering), Associate Professor

Evdokimova S.A., CSc (Engineering), Associate professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Novikov A.I., Doctor of Technical Sciences, Leading researcher

Agrophysical Research Institute

St. Petersburg, Russia

Аннотация: в условиях изменения климата проблема продовольственной безопасности стала еще острее. Ученые и сельхозпроизводители решают задачу по увеличению объемов выращенной продукции при сокращении издержек с помощью применения элементов (или интегрированных платформ) технологии точного земледелия. В свою очередь применение отдельных технологий точного земледелия не способно дать результатов сопоставимого с затратами на такую технологию.

Summary: In the context of climate change, the problem of food security has become even more acute. Scientists and agricultural producers are solving the problem of increasing the volume of products grown while reducing costs by using elements (or integrated platforms) of precision farming technology. In turn, the use of individual precision farming technologies is not able to produce results comparable to the costs of such technology.

Ключевые слова: точное земледелие, большие данные, автоматизация, управление, изменение климата.

Keywords: precision farming, big data, automation, management, climate change.

Селекция растений и агрономия являются трудоемкими науками, и успех этих дисциплин имеет решающее значение для решения планетарных задач продовольственной и водной безопасности для растущего населения мира в условиях изменения климата. На сокращение затрат и увеличение объемов выращенной сельскохозяйственной продукции направлены усилия, как научного сообщества, так сельхозпроизводителей. Развитие сенсорных технологий, точного высева [9], дистанционного зондирования [2], новых технологий сепарирования семян [3-5], аккумуляирования и анализа больших данных дало инструментарий для точного земледелия и построения автоматизированных систем управления в сельском хозяйстве.

Для визуального отображения проблемы изменения климата (рисунок 1) было выбрано 15 стран, в которых опубликовано наибольшее количество работ в области изменения климата [1], связанных с сельским хозяйством.

Новое изобилие информации, предоставляемое этими технологиями, могло бы улучшить способность производителей принимать максимизирующие прибыль решения. Например, объединение наборов данных по сотням или тысячам полей могло бы иметь гораздо большую потенциальную ценность, как для отдельных производителей, так и для сельскохозяйственной отрасли в целом. Большие данные по сельскому хозяйству – данные о фермах, которые были объединены в агрегированную форму, потенциально могут раскрыть нераскрытую информацию. В настоящее время существуют лишь ограниченные количественные данные относительно ценности сбора информации с использованием технологии точного земледелия [2,8]. В условиях изменения климата, такая информация о состоянии большого количества ферм, агрохолдингов и других хозяйствующих субъектов, занятых в области выращивания сельхозпро-

дукции, дала бы больше возможностей по прогнозированию результатов посевов тех или иных культур, времени высева, сроках всходов и созревания, изменение фаз спелости и т.д.

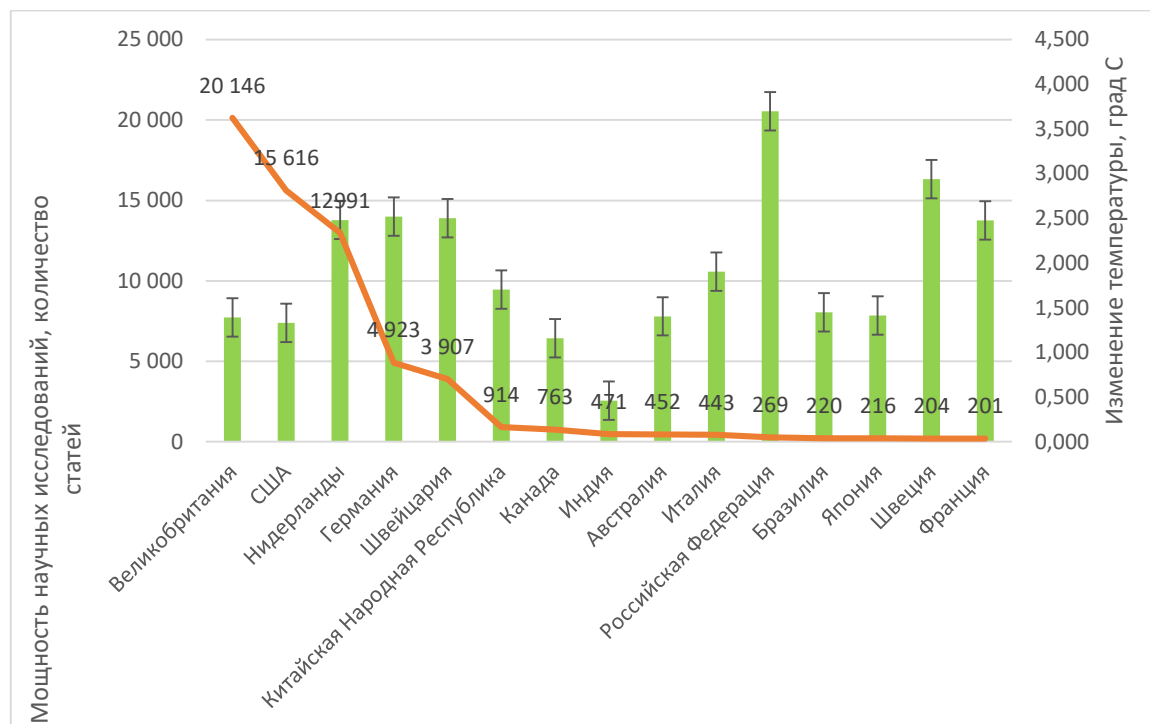


Рисунок 1 – Изменение температуры для 15 стран мира за 10 лет

Отсутствие информации по всем хозяйствам исключает из анализа практики управления фермерами варьирование полей и культур, отчасти потому, что основное внимание по-прежнему уделяется парадигме «одно поле за раз» [8], так что методы управления конкретного фермера оставались неизменными для этого поля. Использование фермерских данных, полученных в результате применения технологий точного земледелия позволит дать решения не только на уровне фермерских хозяйств, но и для производителей сырья и оборудования. Применение технологий точного земледелия открывает большие возможности для накопления данных (больших данных) для исследований влияния методов управления на результаты производства и управления фермерскими хозяйствами.

Список литературы

1. Новикова, Т.П. Влияние изменения климата на управление лесовосстановлением / Т.П. Новикова, Т.В. Новикова, А.И. Новиков // Наука и инновации в современном мире : сборник материалов Национальной научно-практической конференции, Воронеж, 22 января 2024 года. – Воронеж: Воронежский госу-

дарственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 53-58. – DOI: 10.58168/SIMW2024_53-58.

2. Li, S. Study on remote sensing monitoring model of agricultural drought based on random forest deviation correction / S. Li, X. Xu // INMATEH - Agricultural Engineering. –2021. –Vol. 64, Iss. 2. –Pp. 413-422. –DOI: 10.35633/inmateh-64-41.

3. Scots pine seedlings growth dynamics data reveals properties for the future proof of seed coat color grading conjecture / A.I. Novikov, T.P. Novikova, E. Petrishchev, V. Ivetić // Data. – 2019. – Vol. 4, No. 3. – P. 106. – DOI: 10.3390/data4030106.

4. Detection of scots pine single seed in optoelectronic system of mobile grader: Mathematical modeling / A.I. Novikov, V.I. Lisitsyn, M. Tigabu [et al.] // Forests. – 2021. – Vol. 12, No. 2. – P. 1-18. – DOI: 10.3390/f12020240.

5. Патент № 2179079 С2 Российская Федерация, МПК В07В 1/16, В07В 13/04. Устройство для очистки и сортирования лесных семян хвойных пород : № 2000107585/03 : заявл. 28.03.2000 : опубл. 10.02.2002 / Л.Т. Свиридов, А.Д. Голев, А.И. Новиков, А.В. Филатов ; заявитель Воронежская государственная лесотехническая академия.

6. Новиков, А.И. Дисковые сепараторы семян в лесохозяйственном производстве / А.И. Новиков. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2017. – 159 с.

7. Новиков, А.И. Некоторые технологические особенности сортировальных устройств и тенденции их развития / А.И. Новиков // Лес и молодежь ВГЛТА - 2000 г. : Материалы юбилейной научной конференции молодых ученых, посвященная 70-летию образования Воронежской государственной лесотехнической академии: в 2-х томах, Воронеж, 21–25 февраля 2000 года.– Воронеж, 2000. – Т.2. –С. 53-60.

8. Liu, X. Calibration of agricultural risk programming models using positive mathematical programming / X. Liu, G.C. van Kooten, J. Duan // Australasian Journal of Agricultural and Resource Economics. – 2020. – Vol. 64(3). – Pp. 795-817. – DOI: 10.1111/1467-8489.12368.

9. Novikov, A.I. Aerial seeding of forests in Russia: A selected literature analysis / A.I. Novikov, B.T. Ersson // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : International Jubilee Scientific and Practical Conference «Innovative Directions of Development of the Forestry Complex (FORESTRY-2018)», Voronezh, 04-

05 октября 2018 года. – Institute of Physics Publishing: Institute of Physics Publishing, 2019. – Vol. 226. – P. 012051. – DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012051.

References

1. Novikova, T.P. The impact of climate change on reforestation management / T.P. Novikova, T.V. Novikova, A.I. Novikov // Science and innovation in the modern world : proceedings of the National Scientific and Practical Conference, Voronezh, January 22, 2024. Voronezh: Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2024. pp. 53-58. DOI: 10.58168/SIMW2024_53-58.

2. Li, S. Study on remote sensing monitoring model of agricultural drought based on random forest deviation correction / S. Li, X. Xu // INMATEH - Agricultural Engineering. –2021. –Vol. 64, Iss. 2. –Pp. 413-422. –DOI: 10.35633/inmateh-64-41.

3. Scots pine seedlings growth dynamics data reveals properties for the future proof of seed coat color grading conjecture / A.I. Novikov, T.P. Novikova, E. Petrishchev, V. Ivetić // Data. – 2019. – Vol. 4, No. 3. – P. 106. – DOI: 10.3390/data4030106.

4. Detection of scots pine single seed in optoelectronic system of mobile grader: Mathematical modeling / A.I. Novikov, V.I. Lisitsyn, M. Tigabu [et al.] // Forests. – 2021. – Vol. 12, No. 2. – P. 1-18. – DOI: 10.3390/f12020240.

5. Patent No. 2179079 C2 Russian Federation, IPC B07B 1/16, B07B13/04. Device for cleaning and sorting coniferous forest seeds : No. 2000107585/03 : application. 03/28/2000 : published. 02/10/2002 / L.T. Sviridov, A.D. Golev, A.I. Novikov, A.V. Filatov ; applicant Voronezh State Forestry Academy.

6. Novikov, A.I. Disk seed separators in forestry production / A.I. Novikov. – Voronezh : Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2017. –159 p.

7. Novikov, A.I. Some technological features of sorting devices and trends in their development / A.I. Novikov // Forest and youth of the Russian Federation - 2000 : Proceedings of the jubilee scientific conference of young scientists dedicated to the 70th anniversary of the Voronezh State Forestry Academy: in 2 volumes, Voronezh, February 21-25, 2000. – Voronezh, 2000. – Vol. 2. – Pp. 53-60.

8. Liu, X. Calibration of agricultural risk programming models using positive mathematical programming / X. Liu, G.C. van Kooten, J. Duan // Australasian Journal of Agricultural and Resource Economics. – 2020. – Vol. 64(3). – Pp. 795-817. – DOI: 10.1111/1467-8489.12368.

9. Novikov, A.I. Aerial seeding of forests in Russia: A selected literature analysis / A.I. Novikov, B.T. Ersson // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : International Jubilee Scientific and Practical Conference «Innovative Directions of Development of the Forestry Complex (FORESTRY-2018)», Voronezh, 04-05 октября 2018 года. – Institute of Physics Publishing: Institute of Physics Publishing, 2019. – Vol. 226. – P. 012051. – DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012051.

**IoT-УПРАВЛЕНИЕ АГРОТЕХНОЛОГИЯМИ: ОСОБЕННОСТИ
ПОСТРОЕНИЯ РЕЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ ХРАНЕНИЯ СЕНСОРНЫХ
ДАННЫХ НА ПРОЦЕССИНГОВОМ УРОВНЕ**
**IoT MANAGEMENT OF AGRICULTURAL TECHNOLOGIES: FEATURES
OF BUILDING A RELATIONAL MODEL FOR STORING SENSORY DATA
AT THE PROCESSING LEVEL**

Новикова Т.П., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

Новиков А.И., д.т.н., доцент

Чесноков Ю.В., д.б.н., член-корреспондент РАН

Агрофизический научно-исследовательский институт

г. Санкт-Петербург, Россия

Arthur.Novikov@agrophys.ru

Novikova T.P., Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Novikov A.I., Doctor of Technical Sciences, leading researcher

Chesnokov Yu.V., Doctor of Biology Sciences, Professor, Corresponding

Member of the Russian Academy of Sciences

Agrophysical Research Institute

St. Petersburg, Russia

Аннотация: IoT-управление информационным потоком в русле взаимодействия полевых и аналитических работ в автоматизированном и роботизированном режимах, являются в современном научном ландшафте преобладающим. Раскрытие особенностей формирования реляционной структуры базы данных для хранения данных, получаемых с сенсорных устройств в полевых условиях, позволит снизить затраты на обработку и последующий анализ информации на процессинговом уровне IoT-управления.

Summary: IoT-information flow management in line with the interaction of field and analytical work in automated and robotic modes, are prevalent in the modern scientific landscape. Disclosure of the features of forming a relational database structure for storing data received from sensor devices in the field will reduce the cost of processing and subsequent analysis of information at the processing level of IoT management.

Ключевые слова: агротехнологии, агромониторинг, интернет вещей, архитектура интеллектуального узла управления, точное земледелие, отношения в наборах данных, автоматизация, управление, почва, растение, атмосфера.

Keywords: agrotechnology, agromonitoring, Internet of things, architecture of an intelligent control node, precision agriculture, relationships in datasets, automation, management, soil, plant, atmosphere, surface layer.

IoT-управление агромониторингом (от точного земледелия и анализа QTL культуры [1,2] до дифференциации технологических воздействий [3]) в современных научных исследованиях позиционируется как процесс взаимодействия в рамках концепции интернета вещей (IoT) между информационными Системами Управления Мониторингом Агротерриторий (СУМА) с целью прогнозирования последствий действия агротехнологий и планирования мероприятий по повышению продукционной способности агрокультур. Взаимодействие между информационными IoT-системами СУМА, как правило, осуществляется на пяти информационных уровнях:

1. Сенсорный (или аппаратный) уровень

1.1. Подуровень формирования сигналов (как, правило, аналоговых) установленными в зоне детектирования параметров системы «почва – растение – приземный слой атмосферы» датчиками различного физического принципа действия [4]: емкостного, индуктивного, потенциометрического, термического, вибрационного и др.;

1.2. Подуровень приведения детектирующего аналогового сигнала от датчиков в форму, удобную для передачи на процессинговый уровень, путем аналого-цифрового преобразования [5] (АЦП).

1.3. Подуровень приема и приведения управляющего цифрового сигнала от процессингового уровня в форму, удобную для исполнительных устройств, путем цифро-аналогового преобразования (ЦАП).

1.4. Подуровень исполнения преобразованного ЦАП управляющего цифрового сигнала от процессингового уровня актуаторами в автоматическом ре-

жиме (например, создание потенциального запаса энергии на насосной установке для последующего адресного микрокапельного орошения или распыливания).

2. *Сетевой уровень.*

2.1. Подуровень оптимизации передачи данных, например, с помощью кластеризации полученных от датчиков данных по принципу C-LEACH [6] (Central Low-energy adaptive clustering hierarchy) – выбора базовой станции [7], ключевых узлов передачи с наименьшим расстоянием между ними, создание кластеров и выбора порядка соединения между ними.

2.2. Подуровень выбора протокола передачи данных между кластерами и, в конечном итоге, на процессинговый уровень, в системы хранения (базы данных) и обработки сенсорных данных, на котором осуществляется выбор между Wi-Fi, Zigbee, LoRa, GPRS, NRF, Bluetooth или другими альтернативными протоколами [8,9], предпочтительно поддерживающие непрерывную синхронизацию между системами облачного хранения [10].

3. *Процессинговый уровень.*

3.1. Подуровень управления сенсорными данными [11].

3.2. Подуровень хранения (локального или облачного) сенсорных данных.

3.3. Подуровень обработки и анализа данных с применением локального специализированного ПО или использованием облачных платформ.

4. *Пользовательский (интерфейсный) уровень.*

4.1. Подуровень доступа к сенсорным полевым данным в реальном времени с модулем визуализации.

4.2. Подуровень принятия решений с использованием интегрированных систем поддержки принятия решения [12,13].

4.3. Подуровень управления актуаторами.

5. *Уровень защиты информации.*

Все эти уровни заслуживают отдельного рассмотрения в каждом конкретном исследовании. Тем не менее, рассмотрим частный случай организации хранения полевых данных на соответствующем подуровне информационной IoT-системы СУМА. На текущий момент недостаточно полно рассмотрены вопросы о реляционной структуре хранения данных, аккумулируемых в поле на аппаратном уровне датчиками (или интегральной системой датчиков), недостаточно полно раскрыта информация о рисках планирования и электронной компонентной базы [14].

Пусть необходимо хранить данные, поступающие от системы датчиков, интегрированных в едином интеллектуальном сенсорном модуле (ЕИСМ). Единый модуль желательно использовать в атмосферном исполнении с допуском работоспособности в широком диапазоне температуры, влажности и осадков, а также электромагнитных помех от ЛЭП. Единый модуль должен быть выполнен с возможностью локальной установки для сбора параметров как для конкретной единичной агрокультуры, так и на определенной площади по обширному спектру параметров: температуры и влажности почвы, кислотности почвы, температуры и влажности воздуха, уровня естественной освещенности, уровня газообразных веществ (например, VOC, NO₂, C₂H₅CH, CO и др.), выделяемых растениями и (или) присутствующих в приземном слое атмосферы. Тогда алгоритм технологического процесса сбора и передачи данных можно представить следующим образом.

ЕИСМ на аппаратном уровне управления считывает данные со своих датчиков, собирая информацию о системе «почва – растение – приземной слой атмосферы», далее на сетевом уровне проверяет, доступна ли точка доступа для передачи данных по выбранному согласно целям и задачам протоколу передачи. В случае положительного ответа от принимающего кластера, ЕИСМ загружает преобразованные путем АЦП данные с датчиков на удаленный сервер для дальнейшей обработки и анализа на процессинговом уровне. Если принимающий узел связи недоступен, ЕИСМ имеет возможность хранить данные локально (ПЗУ или флэш-карта) для последующей загрузки после восстановления связи с узлом связи на сетевом уровне управления, при этом активируется подпрограмма таймера повторных соединений. После установления связи с удаленным кластером ЕИСМ отправляет сенсорные данные, которые на процессинговом уровне управления формируются для хранения в базу данных, реализованную на платформе SQLServer. После размещения в БД данные могут быть переданы на пользовательский уровень управления, где с помощью веб-интерфейса, после применения алгоритма визуализации, отслеживаются в режиме реального времени.

Классическая реляционная структура информационной базы [15] для облачного хранения сенсорных данных базируется на двух таблицах – таблице с данными от единичных комплексных датчиков «ЕИСМ_1», «ЕИСМ_2», «ЕИСМ_3» и так далее по числу узлов, а также на таблице с данными каждой конкретной персоны «Справочник_Пользователей», привлекаемой к анализу

данных, организованной с использованием алгоритмов аутентификации на уровне защиты информации.

При этом важной особенностью при построении реляционной модели [11] данных будет являться наличие отношения (реляции) типа «один-ко-многим» между сенсорными данными таблиц «ЕИСМ_1», «ЕИСМ_2»... «ЕИСМ_n» (n – количество датчиков) и данными отдельных пользователей в таблице «Справочник_Пользователей». Это означает, что, хотя у пользователя может быть много показаний датчиков, каждое измерение датчика связано с одним пользователем. Поле «ИД_Пользователя» в таблице «Справочник_Пользователей» является первичным ключом с атрибутом отношения «один», а поле «ИД_Пользователя» в таблице «ЕИСМ_1» внешним ключом с атрибутом «многие». Выполнение данного условия гарантирует, что каждое показание датчиков ЕИСМ связано с определенным пользователем.

Таблица «Справочник_Пользователей» может содержать множество полей основными из которых являются следующие: ключевое поле «ИД_Пользователя», поле для хранения электронной почты «Email_Пользователя», поле для хранения пароля «Пароль_Пользователя», поле для хранения сведения об устройстве доступа, с которого персона запрашивает доступ к БД, «ИД_УстройствоЗапроса», а также поля с уникальным именем пользователя для однозначной идентификации в системе «Никнейм_Пользователя». С другой стороны, в таблице «ЕИСМ_1» существуют основные четыре поля: «ИД_Пользователя», «ИД_ЕИСМ1», «Координаты_ЕИСМ» и «Дата_Время_Показаний», указывающие, соответственно, на конкретного пользователя, на узел ЕИСМ, который развернул и собрал показания датчиков, на географическое местоположение устройства (широта, долгота, высота НУМ), на фиксированные дату и время, когда были сняты показания датчиков. Остальные поля отводятся под хранение цифровых данных, аккумулярованных с соответствующих датчиков, количество таких полей зависит от количества датчиков в каждом узле ЕИСМ.

Таким образом, правильная организация хранения сенсорных данных, использование алгоритмов их кластеризации [16] при формировании аналитических запросов на процессинговом уровне IoT-управления, позволит сократить затраты на использование информационного пространства облачных серверов, а также ускорить процесс обработки данных для своевременного планирования управляющего воздействия на актуаторы и последующего SWOT-, статистиче-

ского или других видов анализа откликов на используемый технологический прием.

Список литературы

1. Картирование QTL у яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в контролируемых условиях агроэкобиополигона / Ю. В. Чесноков, Г. В. Мирская, Е. В. Канаш [и др.] // Физиология растений. – 2017. – Т. 64, № 1. – С. 55-68. – DOI: 10.7868/S0015330316060026.

2. Чесноков, Ю. В. Биохимические маркеры в генетических исследованиях культурных растений: применимость и ограничения / Ю. В. Чесноков // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54, № 5. – С. 863-874. – DOI: 10.15389/agrobiology.2019.5.863rus.

3. Комаров, А.А. Анализ пространственных распределений урожайности для обоснования дифференциации агротехнологии / А. А. Комаров, Ю. Г. Захарян, А. Д. Кирсанов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 47. – С. 48-57.

4. Karothia, R. Internet of thing (IoT) enabled smart sensor node (SSN) to measure the soil and environmental parameters for smart farming / R. Karothia, M.K. Chattopadhyay // CSI Transactions on ICT. –2024. –№ 4 (12).– С. 119-135.– DOI: 10.1007/s40012-024-00402-8.

5. How to increase the analog-to-digital converter speed in optoelectronic systems of the seed quality rapid analyzer / S.V. Sokolov, V.V. Kamensky, A.I. Novikov, V. Ivetić // Inventions. – 2019. – Vol. 4, No. 4. – P. 61. – DOI: 10.3390/inventions4040061.

6. Тун, Ю. Разработка алгоритма повышения эффективности протокола маршрутизации C-LEACH / Ю. Тун, Т.П. Новикова, С.А. Евдокимова // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 93-99. – DOI: 10.12737/2219-0767-2022-15-2-93-99.

7. Разработка модели оптимизации выбора площадки базовой станции на основе алгоритма PMET-PSO / Т.П. Новикова, Н.В. Панина, Е.А. Аникеев, Ч. Цзяньцун // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 4. – С. 61-69. – DOI: 10.12737/2219-0767-2022-15-4-61-69.

8. Feng, X. Study of Wireless Communication Technologies on Internet of things for Precision Agriculture / X.Feng, F.Yan, X.Liu // Wirel. Pers. Commun. 2019. – Vol. 108. – Pp. 1785-1802.–DOI:https://doi.org/10.1007/s11277-019-06496-7.

9. Avşar, E. Wireless communication protocols in smart agriculture: a review on applications, challenges and future trends / E.Avşar, M.N. Mowla // Ad. Hoc. Netw. – 2022. – Vol. 136. – S. 102982. –DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2022.102982>.

10. Новикова, Т. П. Облачные технологии – становление и перспективы развития / Т. П. Новикова, В. В. Лядов, М. В. Назаренко // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 1. – С. 37-39.

11. Новикова, Т. П. Управление данными / Т. П. Новикова. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – 106 с. – ISBN 978-5-7994-0982-1.

12. Новикова, Т. П. Информационные системы управления / Т.П. Новикова, С. А. Евдокимова. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2016. – 148 с. – ISBN 978-5-7994-0749-0.

13. Справочная информационная система FLR-library для адаптивного лесовосстановления: информационная модель / Т.П. Новикова, А.И. Новиков, В.И. Лисицын, Е. П. Петрищев // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13, № 4.1(52). – С. 114-124. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2023.4/7.

14. Беляева, Т.П. Алгоритм управления рисками проектов планирования и реализации электронной компонентной базы / Т.П. Беляева, В.К. Зольников, О.Н. Черкасов // Гетеромагнитная микроэлектроника. – 2011. – № 11. – С. 116-124.

15. Новикова, Т.П. Разработка алгоритма и модели функционирования информационной системы для малого сельскохозяйственного предприятия / Т.П. Новикова, Т.В. Новикова, А.И. Новиков // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 4. – С. 53-58. – DOI: 10.12737/2219-0767-2021-13-4-53-58.

16. Евдокимова, С.А. Применение алгоритмов кластеризации для анализа клиентской базы магазина / С.А. Евдокимова, А.В. Журавлев, Т.П. Новикова // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 4-12. – DOI: 10.12737/2219-0767-2021-14-2-4-12.

References

1. QTL mapping in spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) under controlled conditions of agroecobiopolygon / Yu.V. Chesnokov, G. V. Mirskaya, E. V. Kanash [et al.] // Plant Physiology. – 2017. – Vol. 64, No. 1. – pp. 55-68. – DOI: 10.7868/S0015330316060026.

2. Chesnokov, Yu. V. Biochemical markers in genetic studies of cultivated plants: applicability and limitations / Yu. V. Chesnokov // *Agricultural Biology*. – 2019. – Vol. 54, No. 5. – pp. 863-874. – DOI: 10.15389/agrobiology.2019.5.863rus.
3. Komarov, A.A. Analysis of spatial distributions of yields to substantiate the differentiation of agricultural technology / A. A. Komarov, Yu. G. Zakharyan, A.D. Kirsanov // *Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University*. – 2017. – No. 47. – pp. 48-57.
4. Karothia, R. Internet of thing (IoT) enabled smart sensor node (SSN) to measure the soil and environmental parameters for smart farming / R. Karothia, M.K. Chattopadhyay // *CSI Transactions on ICT*. - 2024. - No. 4 (12). - C. 119-135. - DOI: 10.1007/s40012-024-00402-8.
5. How to increase the analog-to-digital converter speed in optoelectronic systems of the seed quality rapid analyzer / S.V. Sokolov, V.V. Kamensky, A.I. Novikov, V. Ivetić // *Inventions*. – 2019. – Vol. 4, No. 4. – P. 61. – DOI: 10.3390/inventions4040061.
6. Tun, Yu. Development of an algorithm to improve the efficiency of the C-LEACH routing protocol / Yu. Tun, T.P. Novikova, S.A. Evdokimova // *Modeling of systems and processes*. – 2022. – Vol. 15, No. 2. – pp. 93-99. – DOI: 10.12737/2219-0767-2022-15-2-93-99.
7. Development of a model for optimizing the choice of a base station site based on the PMET-PSO algorithm / T.P. Novikova, N.V. Panina, E.A. Anikeev, C. Jiancong // *Modeling of systems and processes*. – 2022. – Vol. 15, No. 4. – pp. 61-69. – DOI: 10.12737/2219-0767-2022-15-4-61-69.
8. Feng, X. Study of Wireless Communication Technologies on Internet of things for Precision Agriculture / X. Feng, F. Yan, X. Liu // *Wirel. Pers. Commun.* 2019. - Vol. 108. – Pp. 1785-1802. - DOI: <https://doi.org/10.1007/s11277-019-06496-7>.
9. Avşar, E. Wireless communication protocols in smart agriculture: a review on applications, challenges and future trends / E. Avşar, M.N. Mowla // *Ad. Hoc. Netw.* – 2022. – Vol. 136. – S. 102982. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2022.102982>.
10. Novikova, T. P. Cloudy technologies – formation and development prospects / T. P. Novikova, V. V. Lyadov, M. V. Nazarenko // *Modeling of systems and processes*. - 2013. – No. 1. – Pp. 37-39.

11. Novikova, T. P. Data management / T. P. Novikova. Voronezh : Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2022. 106 p. ISBN 978-5-7994-0982-1.

12. Novikova, T.P. Information Management Systems / T.P. Novikova, S. A. Evdokimova. –Voronezh : Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2016.– 148 p.– ISBN 978-5-7994-0749-0.

13. The FLR-library reference information system for adaptive reforestation: an information model / T.P. Novikova, A.I. Novikov, V.I. Lisitsyn, E. P. Petrishchev // Forestry Engineering Journal. – 2023. – Vol. 13, No. 4.1(52). – pp. 114-124. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2023.4/7.

14. Belyaeva, T.P. Risk management algorithm for projects planning and implementing an electronic component database / T.P. Belyaeva, V.K. Zolnikov, O.N. Cherkasov // Heteromagnetic microelectronics. - 2011. – No. 11. – pp. 116-124.

15. Novikova, T.P. Development of an algorithm and a model for the functioning of an information system for a small agricultural enterprise / T.P. Novikova, T.V. Novikova, A.I. Novikov // Modeling of systems and processes. – 2020. – Vol. 13, No. 4. – Pp. 53-58. – DOI: 10.12737/2219-0767-2021-13-4-53-58.

16. Evdokimova, S.A. Application of clusterization algorithms for the analysis of the customer base of the store / S.A. Evdokimova, A.V. Zhuravlev, T.P. Novikova // Modeling of systems and processes. – 2021. – Vol. 14, No. 2. – Pp. 4-12. – DOI: 10.12737/2219-0767-2021-14-2-4-12.

**ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ДИНАМИЧЕСКИХ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ
AN OVERVIEW OF THE MAIN METHODS FOR IDENTIFYING
DYNAMIC MANAGED SYSTEMS**

Панкова А.А., магистрант

Лапшина М.Л., д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

marina_lapshina@mail.ru

Pankova A.A., Master's student

Lapshina M.L., Doctor of Technical Sciences, Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: Разработка регуляторов систем автоматического управления (САУ) традиционно базируется на моделировании управляемых объектов с использованием математических описаний их динамики. В качестве таких описаний применяются дифференциальные и разностные уравнения, а также передаточные и импульсные переходные функции. Теория управления и идентификации за последние десятилетия сформировала широкий спектр методологических подходов, позволяющих моделировать динамические системы с высокой степенью точности. В настоящей статье рассматриваются основные методы идентификации динамических систем, их классификация и особенности применения в современных инженерных задачах.

Abstract: The development of regulators for automatic control systems (ACS) is traditionally based on modeling controlled objects using mathematical descriptions of their dynamics. Differential and difference equations, as well as transfer and impulse transition functions are used as such descriptions. Over the past decades, the theory of control and identification has formed a wide range of methodological approaches that allow modeling dynamic systems with a high degree of accuracy. This

article discusses the main methods of identification of dynamic systems, their classification and application features in modern engineering tasks.

Ключевые слова: автоматизация, классификация, моделирование, идентификация, метод, задачи, критерий, вектор.

Keywords: automation, classification, modeling, identification, method, tasks, criterion, vector.

Классификация методов идентификации динамических систем

Существует несколько подходов к построению моделей динамических объектов. В литературе принято выделять три основные группы методов:

Методы структурной идентификации. Данные методы направлены на определение базовой структуры модели, что часто зависит от выбранного класса динамических характеристик объекта [1]. Например, если динамика описывается векторным уравнением, то структура модели определяется размерностью вектора состояния (n), а при использовании передаточной функции – порядками полиномов числителя (m) и знаменателя (n).

Методы параметрической идентификации. В этой группе основное внимание уделяется оценке параметров уже выбранной структуры модели. Здесь в качестве математических описаний применяются дифференциальные, разностные уравнения и передаточные функции, параметры которых определяются с учетом неизвестных величин.

Методы непараметрической идентификации. Они ориентированы на построение (оценку) импульсных переходных функций (ИПФ) объекта без предварительного задания структуры модели. В этой группе широко применяются метод свертки и корреляционный метод.

Определение структуры модели управляемого объекта является сложной задачей, и в настоящее время отсутствуют универсальные формализованные методы её решения [2]. Одним из возможных подходов к синтезу структуры модели является применение принципа сложности, при котором разрабатываются соответствующие шкалы сложности для различных типов моделей динамических систем.

Методы параметрической идентификации

Методы параметрической идентификации применяются для моделирования систем, где динамика описывается уравнениями, содержащими неизвестные параметры. К данной группе относятся следующие методы:

Метод наименьших квадратов (МНК). Метод наименьших квадратов, в основном, используется в тех случаях, когда возмущения не измеряются (не контролируются). При этом, критериальная (штрафная) функция $J(p)$ определяется евклидовой нормой, определяемой формулой:

$$J(p) = \int_{t_0}^{t_k} \|e(p, t)\|^2 d\tau,$$

где $e(p) = [e_1(p), e_2(p), \dots, e_n(p)]^T$ – вектор ошибки идентификации:

$$e(p) = y(p, t) - y^*(t).$$

В случае, когда выбранная модель объекта управления описывается линейным дифференциальным или разностным уравнением, штрафная функция $J(p)$ является квадратической функцией от параметров модели $p_1, p_2, \dots, p_\mu$. При этом решение экстремальной задачи приводит к системе линейных алгебраических уравнений относительно компонентов вектора p . Если его размерность μ велика, то решение полученной системы уравнений представляет определенные трудности, так как процедура обращения матрицы системы является сложной задачей [1, 3]. В связи с этим разработаны рекуррентные алгоритмы метода наименьших квадратов, которые дают возможность последовательно определить оценки параметров модели объекта без операции обращения матрицы системы. При этом искомая оценка вектора p является несмещенной и состоятельной, если возмущения $\xi(t)$ представляют собой независимые одинаково распределенные случайные величины.

В случае, когда критерий $J(p)$ является нелинейной функцией от компонентов вектора p , полученная система алгебраических уравнений, определяющих необходимые условия ее экстремума, также является нелинейной функцией. При этом для решения задачи, т.е. для идентификации объекта можно использовать градиентные методы, которые делятся на 2 группы: прямые и косвенные методы. В прямых методах штрафная функция $J(p)$ минимизируется на каждом шаге по итерационной схеме:

$$p^{i+1} = p^i - K^i \frac{\partial J(p^i)}{\partial p^i}, \quad i = 0, 1, 2, \dots,$$

где p^i – значение вектора p на i -ом шаге;

$$\frac{\partial J(p^i)}{\partial p^i} = \left. \frac{\partial J(p)}{\partial p} \right|_{p=p^i} - \text{вектор градиент функции } J(p) \text{ в точке } p^i;$$

$K^i = \text{diag}[k_v^i]_{m \times m}$ – диагональная матрица, элементами которой являются положительные числа k_v^i , выбираемые из условий обеспечения сходимости последовательности и необходимой скорости сходимости.

Таким образом, в градиентных методах процедура идентификации объекта сводится к формированию последовательности, которая завершается, если выполняется условие

$$\left\| \frac{\partial J(p^i)}{\partial p^i} \right\| \leq \varepsilon,$$

где ε – малое положительное число.

Найденный при этом вектор-параметр $p^* = [p_1^*, p_2^*, \dots, p_\mu^*]$, обеспечивает локальный минимум критерия $J(p)$. В общем случае штрафная функция $J(p)$ может иметь несколько экстремумов, что усложняет процедуру идентификации объекта управления [2].

Градиентные алгоритмы. Данный класс методов основывается на минимизации штрафной функции посредством итерационного процесса. Для того чтобы обеспечить быструю сходимость итерационного процесса используется метод наискорейшего спуска или градиентный метод второго порядка, известный как метод Ньютона. Для этой цели более эффективным может оказаться метод сопряженного градиента, сочетающий преимущества методов первого и второго порядков [4]. Недостатком этих алгоритмов является то, что при высоких порядках моделей объектов реализация их вычислительных процедур представляет определенные трудности. При наличии нелинейных зависимостей критерий J может иметь несколько экстремумов, что усложняет задачу поиска глобального минимума.

Стохастическая аппроксимация. Данный метод представляет собой развитие градиентных алгоритмов с учетом неопределенности в измерениях и внешних воздействиях. Первоначально используемый для задач регрессии, метод стохастической аппроксимации адаптируется для идентификации динамических систем. Одной из ключевых проблем является выбор аналога матрицы, способного обеспечить сходимость итерационного процесса. При этом часто возникает необходимость применения принципов теории оптимального управления, таких как принцип максимума [5]. Спектральные и частотные методы, метод максимального правдоподобия и апостериорной вероятности. Эти подходы используются в случаях, когда требуется оценка параметров модели на основе анализа спектра сигналов или статистических свойств измерительных

данных. Они позволяют учесть влияние шума и возмущений, обеспечивая более точную идентификацию динамических характеристик системы.

Методы непараметрической идентификации

Методы непараметрической идентификации ориентированы на построение импульсных переходных функций (ИПФ) объекта управления. Ключевые подходы в данной группе включают:

Метод свертки. Основан на разложении входного сигнала в базис, с последующей оценкой функции свертки, характеризующей динамику объекта. Данный метод широко применяется в системах, где входной сигнал и выходная реакция связаны через свёрточную операцию.

Корреляционный метод. Используется для определения взаимосвязи между входными и выходными сигналами системы. На основе анализа корреляционных функций можно оценить импульсную характеристику объекта управления, что позволяет построить модель без предварительного задания параметрической структуры. Методы непараметрической идентификации зачастую применяются в тех случаях, когда недостаточно информации для выбора конкретного параметрического описания или когда динамика объекта имеет сложную нелинейную природу.

Косвенные методы параметрической идентификации

Помимо прямых методов, в задачах параметрической идентификации активно применяются косвенные подходы, среди которых выделяются следующие:

Метод квазилинеаризации. При реализации данного алгоритма нелинейные функции, входящие в уравнение динамики объекта, линеаризуются на каждом шаге итерационного процесса с использованием, например, разложения по Тейлору [2]. Этот подход позволяет проводить оценку параметров нелинейных моделей как стационарных, так и нестационарных объектов. Преимуществом метода является возможность решения двухточечных краевых задач, возникающих при идентификации систем.

К основным недостаткам метода квазилинеаризации относятся:

- высокая вычислительная сложность, связанная с применением методов оптимального управления;
- зависимость сходимости итерационного процесса от выбора начального приближения;

Методы дифференциальной и разностной аппроксимации

Данные методы позволяют оценивать производные и разности, необходимые для построения моделей динамических систем, на основе экспериментальных данных. Применение аппроксимационных схем позволяет снизить вычислительную нагрузку и повысить устойчивость алгоритмов идентификации.

Методы стохастической аппроксимации: детали реализации

Методы стохастической аппроксимации являются эволюцией градиентных алгоритмов в условиях неопределенности измерений и внешних возмущений. Исторически данные методы были разработаны для решения задач регрессии и поиска экстремумов функций, однако их адаптация для идентификации динамических систем требует учета следующих особенностей:

Выбор шага и матричного аналога. Одной из главных проблем является подбор коэффициентов итерационного процесса, которые гарантируют сходимость метода. Здесь часто используется идея адаптивного выбора шага k и применение методов, заимствованных из теории оптимального управления.

Учёт случайных возмущений. Реальные измерения всегда сопровождаются шумом, и алгоритмы стохастической аппроксимации должны корректно обрабатывать такие данные. Это достигается за счёт статистической обработки ошибок и применения методов фильтрации, что позволяет повысить точность оценки параметров модели.

Принцип максимума. В ряде случаев оптимизация итерационного процесса требует применения принципа максимума, что делает процедуру идентификации более сложной, но одновременно позволяет добиться более точного соответствия модели объекту управления.

Применение методов идентификации в реальных системах

Практическая значимость методов идентификации проявляется при их применении в различных отраслях техники и промышленности.

Например: в системах автоматического регулирования технологических процессов используются как параметрические, так и непараметрические методы для построения моделей, позволяющих оптимизировать работу регуляторов;

В аэрокосмической технике идентификация динамики летательных аппаратов требует учета нелинейных эффектов, что способствует применению методов квазилинеаризации и стохастической аппроксимации;

В робототехнике и системах управления движением используются градиентные алгоритмы и методы корреляционного анализа для адаптивного управления в условиях изменяющейся динамики;

Эффективность выбранного метода идентификации напрямую влияет на качество разработанных регуляторов и, как следствие, на стабильность и надёжность функционирования системы;

Сравнительный анализ и обсуждение

При выборе метода идентификации необходимо учитывать следующие аспекты:

Точность модели. Параметрические методы, как правило, обеспечивают высокую точность при наличии достаточного объёма информации о системе, однако требуют предварительного задания структуры модели. В свою очередь, непараметрические методы более гибки, но могут уступать в точности при оценке сложных нелинейных систем.

Вычислительная сложность. Методы, предполагающие решение систем линейных или нелинейных уравнений, могут оказаться вычислительно затратными, особенно при высокой размерности модели [5]. В таких случаях использование рекуррентных алгоритмов и методов стохастической аппроксимации позволяет снизить нагрузку на вычислительные ресурсы.

Сходимость алгоритмов. Градиентные методы, как прямые, так и косвенные, зависят от выбора шага итерационного процесса и начальных приближений. Неправильно подобранные параметры могут привести к медленной сходимости или даже расходимости алгоритма, что требует дополнительной настройки и адаптации.

Устойчивость к шуму. Методы стохастической аппроксимации демонстрируют высокую устойчивость при наличии измерительного шума, что является существенным преимуществом в реальных приложениях. Однако, данное преимущество достигается за счёт повышения сложности алгоритма и необходимости адаптивного управления параметрами.

В совокупности, выбор метода идентификации должен базироваться на анализе конкретных условий задачи, доступности экспериментальных данных и вычислительных ресурсов.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

В данной статье был рассмотрен широкий спектр методов идентификации динамических управляемых систем, включающих как параметрические, так и непараметрические подходы. Ключевыми аспектами являются:

Сложность определения структуры модели, которая зависит от выбранного класса динамических характеристик;

Преимущества и недостатки каждого из методов, в частности, необходимость балансировки между вычислительной сложностью и точностью модели;

Значимость адаптации методов идентификации для реальных инженерных приложений, где устойчивость к внешним возмущениям и шуму является критически важной.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой гибридных методов, объединяющих преимущества параметрических и непараметрических подходов, а также с совершенствованием алгоритмов адаптивной настройки, что позволит повысить качество идентификации сложных динамических систем в условиях неопределенности.

Список литературы

1. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования / под ред. В.В. Солодовникова. – М.: Машиностроение, 2020. – Кн.1: Математическое описание, анализ устойчивости и качества автоматического регулирования. – 768 с.
2. Солодовников, В.В. Статистическая динамика линейных систем автоматического управления / В.В. Солодовников. – М.: Физматгиз, 2019. – 656 с.
3. Андреев, Ю.Н. Управление конечномерными линейными объектами / Ю.Н. Андреев. – М.: Наука, 2021 – 424 с.
4. Квакуернак, Х. Линейные оптимальные системы управления / Х. Квакуернак, Р. Сиван. – М.: Мир, 2022. – 650 с.
5. Спиди, К. Теория управления (идентификация и оптимальное управление) / К. Спиди, Р. Браун, Дж. Гудвин. – М.: Мир, 2022. – 248 с.

References

1. Technical cybernetics. Theory of automatic regulation / edited by V.V. Solodovnikov. – Moscow: Mashinostroenie, 2020. – Book 1: Mathematical description, analysis of stability and quality of automatic regulation. - 768 p.
2. Solodovnikov, V.V. Statistical dynamics of linear automatic control systems / V.V. Solodovnikov. – Moscow: Fizmatgiz, 2019– 656 p.
3. Andreev, Yu.N. Control of finite-dimensional linear objects / Yu.N. Andreev. – M.: Nauka, 2021 - 424 p.
4. Kvakernaak, H. Linear optimal control systems / H. Kvakernaak, R. Sivan. Moscow: Mir Publ., 2022, 650 p.
5. Speedy, K. Theory of management (identification and optimal management) / K. Speedy, R. Brown, J. Goodwin. – M.: Mir, 2022. – 248 p.

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И
УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИЕЙ ОТВОДА ДРЕНАЖНЫХ ВОД
DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED MONITORING AND CONTROL
SYSTEM FOR A DRAINAGE PUMPING STATION**

Парфенов А.А., магистрант

Лапшина М.Л., д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

marina_lapshina@mail.ru

A.A. Parfenov, master's student

Lapshina M.L., Doctor of Technical Sciences, Professor

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies

named after G.F. Morozov"

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье представлена концепция разработки автоматизированной системы контроля и управления насосной станцией отвода дренажных вод. Рассмотрены основные принципы проектирования такой системы, её архитектура и функциональные возможности. Особое внимание уделено вопросам интеграции систем мониторинга и управления, а также применению современных информационных технологий для повышения эффективности и надёжности работы насосной станции. Приведен пример практической реализации системы на базе программируемых логических контроллеров (PLC) и SCADA-систем. Обоснованы преимущества предлагаемого подхода и перспективы его дальнейшего развития.

Summary: The article presents the concept of developing an automated monitoring and control system for a drainage pumping station. The basic principles of designing such a system, its architecture and functionality are considered. Special attention is paid to the integration of monitoring and control systems, as well as the use of modern information technologies to improve the efficiency and reliability of the

pumping station. An example of a practical implementation of a system based on programmable logic controllers (PLC) and SCADA systems is given. The advantages of the proposed approach and the prospects for its further development are substantiated.

Ключевые слова: хранилище, структура, вода, уровень, контроль, оборудование

Keywords: storage, structure, water, level, control, equipment

Насосные станции отвода дренажных вод играют ключевую роль в обеспечении безопасного функционирования различных объектов инфраструктуры, таких как промышленные предприятия, строительные площадки и жилые массивы. Эффективное управление такими объектами требует внедрения современных автоматизированных систем, которые способны контролировать и регулировать процессы в режиме реального времени, обеспечивая защиту окружающей среды и минимизируя риски аварийных ситуаций. Основной идеей является формирование плана автоматизации системы контроля и управления насосной станцией отвода дренажных вод, гарантирующей надежное и качественное использование устройств и потенциальных возможностей. В ходе исследования рассмотрены методологические основы проектирования, выбраны оптимальные технические решения и представлены результаты практического применения предложенного подхода.

Автоматизированная система контроля и управления насосной станцией включает три базовых звена:

1. Первое звено (уровень полевых устройств) формируется датчиками и исполнительными механизмами, непосредственно коммуницирующими с объектом управления. Уровень воды, температуры, давления и определяются с использованием датчиков первого звена, затем предоставляя данные следующему звену.

2. Второе звено (контроллерный уровень) определено наличием программируемых логических контроллеров (PLC), которые принимают данные от датчиков, выполняют алгоритмы управления и передают команды исполнительным устройствам. PLC также отвечают за мониторинг состояния оборудования и диагностику возможных неисправностей.

3. Третье звено (SCADA-система) – объединяет кластер серверов и автоматизированные рабочие места операторов. SCADA-система визуализирует данные, поступающие с нижних уровней, и предоставляет интерфейс для

управления системой в режиме реального времени. Здесь также осуществляются функции архивации данных, анализа и формирования отчетов.

Структура системы обычно включает три уровня (рисунок 1).

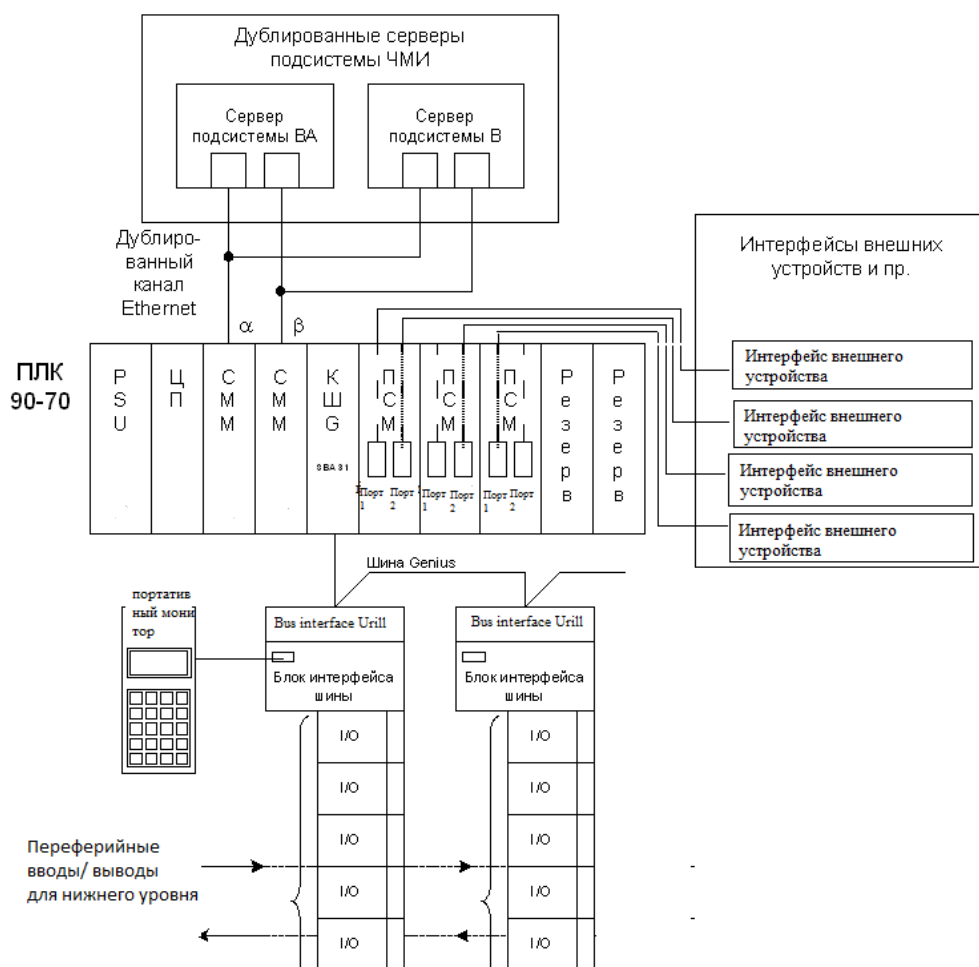


Рисунок 1 – Общая структура системы

Предложенная система должна обладать следующими функциями:

- Мониторинг параметров: непрерывное измерение и контроль уровня воды, температуры, давления и других физических величин.
- Управление насосами: автоматическое включение и отключение насосов в зависимости от уровня воды и других параметров.
- Диагностика неисправностей: обнаружение и локализация проблем в работе оборудования с выдачей предупреждений оператору.
- Энергосбережение: оптимизация режимов работы насосов для минимизации потребления электроэнергии.

Удалённый доступ: возможность дистанционного управления и мониторинга системы через веб-интерфейсы или мобильные приложения.

Для реализации проекта предлагается использование следующих компонент:

– Датчики уровня воды: ультразвуковые и поплавковые датчики для точного измерения уровня жидкости.

– Исполнительные механизмы: электрические клапаны и насосы с частотными преобразователями для регулирования скорости перекачиваемого потока.

– PLC-контроллеры: Siemens SIMATIC S7-1200 для управления и координации работы системы.

– SCADA-система: WinCC Flexible для визуализации данных и управления системой.

Предлагаемое программное обеспечение подразумевает использование языков программирования Ladder Logic и Structured Text. Алгоритмы управления основываются на регламентах и нормах эксплуатации насосных станций. Для обеспечения безопасности и надежности применены методы избыточности и самодиагностики.

После завершения разработки и монтажа системы будут проведены испытания на реальном объекте. Предлагаемая автоматизированная система контроля и управления насосной станцией отвода дренажных вод подразумевает дальнейшее развитие системы, включающее интеграцию с облачными платформами и искусственным интеллектом для ещё большего повышения эффективности и адаптивности к внешним условиям.

Список литературы

1. Боресков, А.В. Основы работы с технологией CUDA / А.В. Боресков, А.А. Харламов. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 232 с.

2. Генов, А.О. Мультисервисные БЦП – технологический прорыв в повышении эффективности CCC / А.О. Генов // Науч.-технич. конф.: к 95-летию академика В.А. Мельникова. – М., 2023. – С. 128–236.

3. Генов, А.О. Бортовые цифровые платформы / А.О. Генов // Broadcasting, 2022. – № 3.

References

1. Boreskov, A.V. Fundamentals of working with CUDA technology / A.V. Boreskov, A.A. Kharlamov. – Moscow: DMK Press, 2020. – 232 p.

2. Genov, A.O. Multiservice BCPs – a technological breakthrough in improving the efficiency of CCC / A.O. Genov // Scientific and Technical conference: on the 95th anniversary of academician V.A. Melnikov. – Moscow, 2023. – Pp. 128-236.

3. Genov, A.O. Onboard digital platforms / A.O. Genov // Broadcasting, 2022. – No. 3.

**КОМБИНИРОВАННОЕ ДВУХАГРЕГАТНОЕ ВЕСОВОЕ
НЕПРЕРЫВНОЕ ДОЗИРОВАНИЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ
COMBINED TWO-UNIT WEIGHT CONTINUOUS DOSING OF BULK
MATERIALS**

Поляков С.И., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»
г. Воронеж, Россия
poliakov1960@mail.ru

Polyakov S.I., PhD (Engineering), Associate professor
FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov»
Voronezh, Russian Federation

Аннотация: Статья посвящена исследованию проблемы комбинированного двухагрегатного непрерывного дозирования сыпучих материалов с целью создания автоматизированной системы управления процессом весового дозирования

Summary: The article is devoted to the study of the problem of combined two-unit continuous dosing of bulk materials in order to create an automated control system for the weighing dosing process

Ключевые слова: весовое дозирование, точность, автоматическое регулирование, управление, строительные смеси, структурная схема

Keywords: weight dosing, accuracy, automatic regulation, control, building mixes, block diagram

Производство строительных смесей высокого качества при непрерывном дозировании исходных компонентов является приоритетной задачей по созданию передвижных бетоносмесительных установок для нужд строительной отрасли. Причем вопросы автоматического управления непрерывным весовым дозированием и смешиванием компонентов при производстве смесей являются ключевыми.

Работа посвящена исследованию повышения точности весового непрерывного дозирования компонентов строительных смесей и созданию АСУ дозированием.

При этом требовалось изучить особенности весового дозирования компонентов смесей как объекта управления и выработать проектные предложения для реализации автоматического непрерывного весового дозирования.

Исследование процесса непрерывного весового дозирования компонентов строительных смесей с разработкой и созданием АСУ дозированием представляет важную научную и практическую проблему.

В работе решены следующие задачи:

- исследование процесса дозирования как объекта компьютерного управления;
- модернизация структуры управления взвешиванием на базе современных средств автоматического контроля и управления;
- выбор комплекса технических средств системы управления непрерывным весовым дозированием компонентов строительных смесей;
- техническая реализация системы управления на основе использования рычажных весов, частотных преобразователей, а также контроллера, регулятора или промышленного компьютера.

Объект исследования являлись автоматические весовые дозаторы компонентов строительных смесей. Предмет исследования – процесс непрерывного весового дозирования компонентов строительных смесей. К научной новизне работы можно отнести определение особенности управления процессом непрерывного весового дозирования[1].

Проектная значимость, заключается в выборе комплекса технических средств автоматизации дозирования и на их основе создание автоматизированной тензометрической системы дозирования.

Работа имеет практическую ценность, заключающуюся в разработке системы управления весовым дозированием.

Результаты работы:

- определены особенности процесса весового дозирования и системы управления дозированием;
- выявлена и экспериментально подтверждена точность дозирования компонентов на реальном весовом оборудовании;
- получены проектные решения по модернизации участка автоматического дозирования компонентов;

– предложенная в работе система управления дозированием характеризуется сбором, анализом и оперативным управлением технологическим весовым оборудованием.

Апробация работы: основные положения докладывались на научно-технических конференциях, проводимых в разные годы в ВГЛТУ.

Анализ состояния научно-технических разработок в области автоматизации непрерывного весового дозирования материалов бетоносмесительных установок показал недостатки существующих весоизмерительных установок по точности дозирования.

В последнее время разработка и выбор комплекса технических средств автоматизации непрерывного дозирования материалов бетоносмесительных установок выполняется с тензометрической измерительной системой.

На основе вышеизложенных знаний можно сделать заключение о результате проделанной работы [2].

Рассмотрим структурную схему АСР непрерывным дозированием компонентов смесей с запаздыванием.

Конструктивная схема типового дозатора непрерывного действия приведена на рисунке 1. С точки зрения автоматического управления дозатор представляет собой объект, которым необходимо управлять в автоматическом режиме.

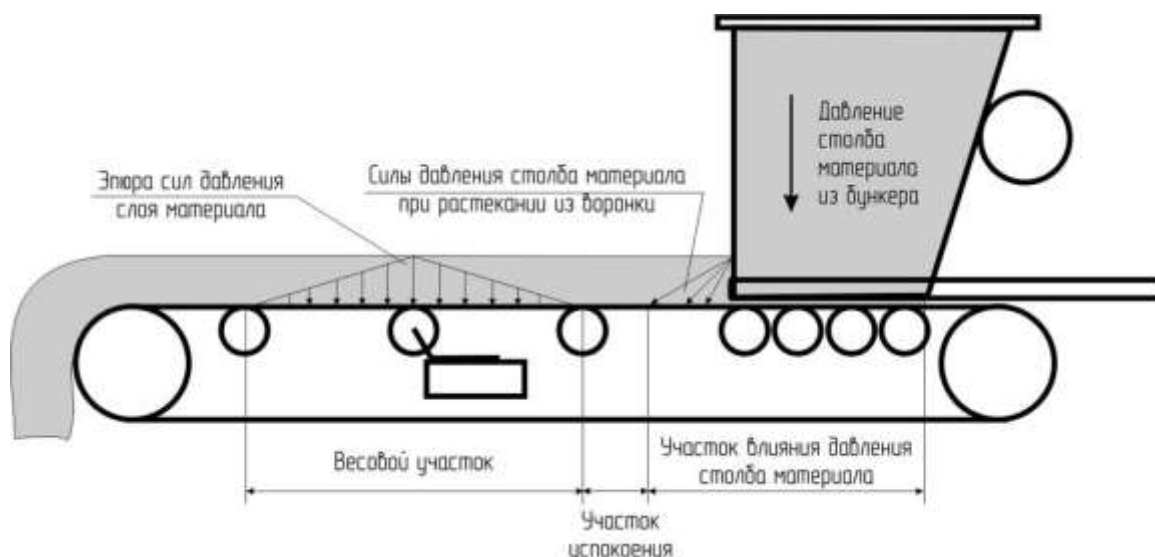


Рисунок 1 – Внешний вид дозатора отечественного производства КЛИМ

Основными параметрами управления являются насыпная масса материала на грузоприемной ленте дозатора и скорость перемещения этой ленты. Если создать комбинированное управление дозатором, то параметром управления будет расход стружечного потока или производительность непрерывного дозатора.

Формула для вычисления производительности дозатора

$$Q = \frac{m}{\Delta t}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Дозатор, приведенный на рисунке 1, оснастим средствами автоматизации для реализации автоматического управления. В соответствии с рисунком 2 система управления дозатором с позиций автоматического управления представляет собой контур автоматического регулирования с отрицательной обратной связью по производительности.

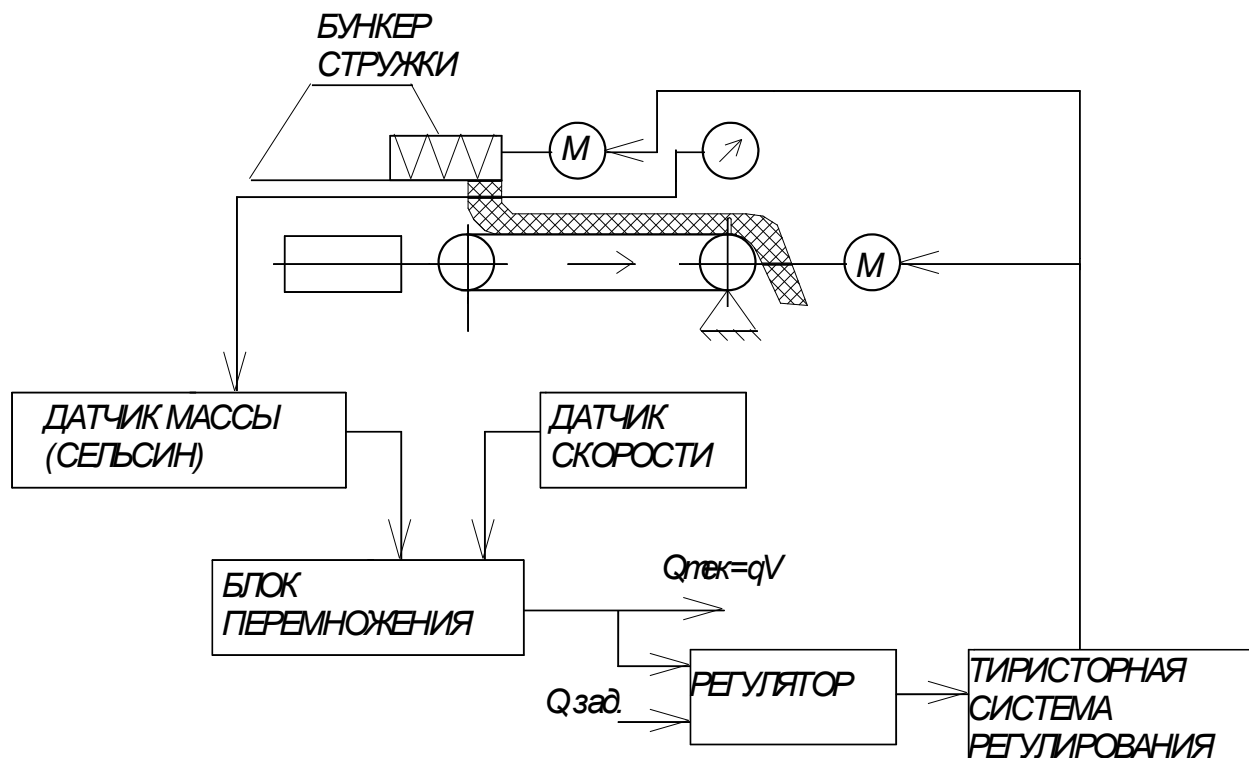


Рисунок 2 – Структурная схема контура автоматического регулирования производительности дозатора

Рассмотрим процесс управления комбинированным двухагрегатным весовым дозатором непрерывного действия.

В комбинированном двухагрегатном весовом дозаторе непрерывного действия реализуется управление с обратной связью по производительности.

Принцип комбинированного управления заключается в отдельном регулировании скорости движения ленты короткого ленточного транспортера и интенсивности подачи материала из питателя. Выигрыш от такой организации работы дозатора состоит в снижении погрешности дозирования для обеспечения высокой точности дозирования [3].

На рисунке 3 представлены различные варианты организации структуры комбинированного управления производительностью весового дозатора.

Предложенная организация структуры питателя на рисунке 3, а предполагает перемещение рычага заслонки по вертикали с целью изменения толщины насыпаемого материала на ленту. Понятно, что такая достаточно простая структура питателя эффективно будет работать в случае дозирования однородного материала, достаточно мелкого гранулометрического состава. В случае крупных монолитных образований, слипшихся комков работа питателя дозатора будет нестабильной, происходить с рывками, приводящими к сбивчивой работе всей весоизмерительной системы весового дозатора и к погрешности дозирования, значительно превышающей нормативную.

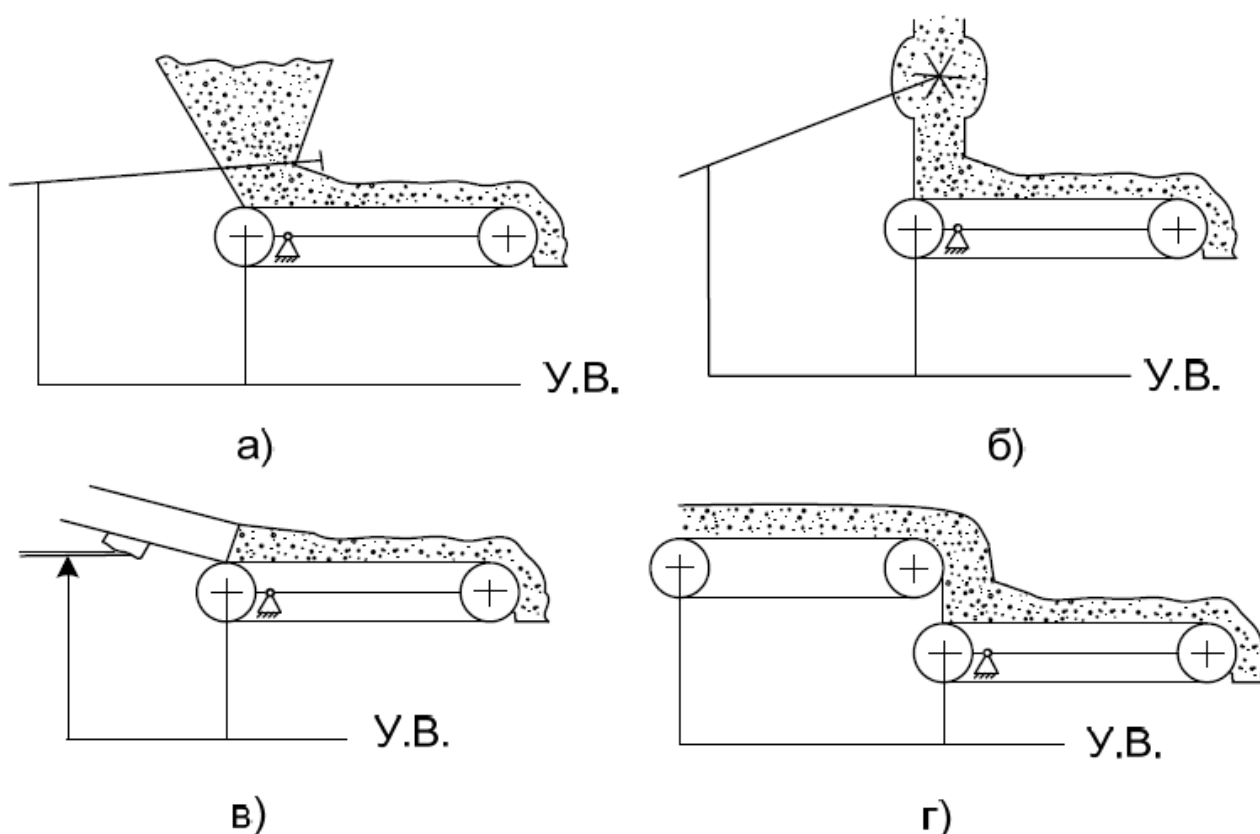


Рисунок 3 – Варианты комбинированного весового дозатора с неизменным грузоприемным органом и различными питающими устройствами с регулированием интенсивности подачи:

- а) изменением уровня насыпной массы материала; б) вращающимся секторным затвором (барабанным питателем); в) работой вибрационного устройства; г) ленточным питателем; УВ – управляющее воздействие на ленточный транспортер и питатель

Более стабильную работу питателя и весового дозатора в целом может обеспечить вариант комбинированного управления, изображенный на рисунке 3, б. Но и в этом случае подача материала будет осуществляться равномерно при относительно однородной структуре дозируемого материала. При попада-

нии крупных вкраплений в барабан питателя возможно заклинивание его работы, неравномерная подача и другие негативные факторы, влияющие на стабильную работу питателя. Поэтому такой вариант подходит в производстве строительных смесей в основном для дозирования песка, керамзита, мелкого щебня и гравия.

Следующий вариант подачи материала на основе вибрирующего устройства представлен на рисунке 3, в. Вибратор крепится к днищу питателя в виде наклонной поверхности, которая подвергается электромагнитному воздействию и приводит к изменению амплитуды и частоты ее колебаний. Материал равномерно перемещается в результате такого воздействия. Погрешность дозирования тем меньше, чем равномернее по структуре дозируемый материал, в основном, песок. То есть и в этом случае недостаток дозирования, описанный для рисунков 3, а и 3, б сохраняется.

Вариант комбинированного управления дозатором для рисунка 3, г предполагает применение ленточного питателя, аналогичного короткому ленточному транспортеру грузоприемного органа. Здесь в меньшей степени равномерная работа питателя зависит от структуры дозируемого материала. Осуществив от управляющего воздействия оптимальную скорость вращения ленты питателя и ленты грузоприемного органа даже для дозирования крупных монолитных образований можно добиться значительного снижения статической и динамической составляющей погрешности дозирования. Этот вариант комбинированного управления дозатором является по сравнению с рассмотренными наиболее предпочтительным и на нем следует остановиться для практической реализации непрерывного дозирования компонентов строительных смесей [4].

Отметим, в работе были выполнены исследования по научно-технической проблеме управления процессом непрерывного весового дозирования материалов бетоносмесительных установок. Основными результатами являются приведенные ниже положения:

1. Проведена характеристика основных научно-технических разработок в области автоматизации непрерывного весового дозирования материалов бетоносмесительных установок.
2. В качестве объекта автоматизации выбран дозатор автоматический ленточный весового непрерывного действия «КЛИМ-ВД».
3. Рассмотрена структурная схема современной типовой бетоносмесительной установки.

4. Проведена характеристика автоматизированной системы управления непрерывным весовым дозированием компонентов строительных смесей.

5. Разработана структурная схема двухагрегатного комбинированного весового непрерывного дозатора.

6. Для обеспечения нормальной работы дозатора с точки зрения автоматического управления регулирование расхода материала дозатором должно производиться на практике регулированием приводов и питателя, и конвейера при обеспечении квадратичной зависимости скорости ленты питателя от скорости ленты грузового конвейера.

7. Рассмотрена проблема достижения точности дозирования за счет изменения структуры весоизмерительных устройств.

Список литературы

1. Способ управления режимами дозирования и смешивания с применением вейвлет-преобразований / К.А. Дацук, Е.И. Князьков, Д.Б. Федосенков [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2010. – Вып. 3(18). – С. 126-134.

2. Поляков, С.И. Управление процессами дозирования и смешивания в производстве древесностружечных плит / С.И. Поляков // Актуальные проблемы лесного комплекса: материалы XII международной научно-технической конференции. – Брянск, 2011. – С. 111-117.

3. Рачков, М.Ю. Технические измерения и приборы / М.Ю. Рачков. – М. : МГИУ, 2007. – 200 с.

4. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений / Г.Г. Раннев, А.П. Тарасенко. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 336 с.

References

1. A method for controlling dosing and mixing modes using wavelet transformations / K.A. Datsyuk, E.I. Knyazkov, D.B. Fedosenkov [et al.] // Machinery and technology of food production. – 2010. – Issue 3(18). – Pp. 126-134.

2. Polyakov, S.I. Process management dosing and mixing in the production of particle boards / S.I. Polyakov // Actual problems of the forest complex: proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference. – Bryansk, 2011. – Pp. 111-117.

3. Rachkov, M.Y. Technical measurements and devices / M.Y. Rachkov. – M. : MGIU, 2007. – 200 p.

4. Rannev, G.G. Methods and measuring instruments / G.G. Rannev, A.P. Tarasenko. – M. : Publishing center «Academy», 2004. – 336 p.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА
ОБРАЗОВАНИЯ**

STUDY OF EDUCATION QUALITY MONITORING MODELS

Сафонова Ю.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

kulakova7@yandex.ru

Safonova Yu.A., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В работе приведен анализ современных подходов к оценке эффективности деятельности вузов. Представлен усовершенствованный рейтинговый метод мониторинга высших учебных организаций, направленный на выявление динамики позиции вуза в рейтинговых списках. Приведен анализ взаимосвязи между занимаемым вузом местом в рейтинге и его конкретными показателями эффективности. Описано применение специализированного программного продукта «LiftUp» для определения текущего положения вуза в рейтинге по сравнению с предыдущими периодами и, соответственно, оценки возможных перспектив развития и усовершенствования образовательных процессов.

Summary: The paper presents an analysis of modern approaches to assessing the effectiveness of universities. An improved rating method for monitoring higher education institutions is presented, aimed at identifying the dynamics of the university's position in the rating lists. An analysis of the relationship between the place occupied by the university in the rating and its specific performance indicators is presented. The application of the specialized software product «LiftUp» is described for determining the current position of the university in the rating compared to previous periods and, accordingly, assessing possible prospects for the development and improvement of educational processes.

Ключевые слова: мониторинг, моделирование, эффективность деятельности вуза, показатели мониторинга.

Keywords: monitoring, modeling, university performance efficiency, monitoring indicators.

Специальные показатели деятельности вуза позволяют анализировать, насколько эффективно работает образовательная организация. К этим показателям можно отнести качественные характеристики образования, научные достижения, социальная сторона деятельности вуза, экономические критерии работы организации. Такой анализ выявляет параметры, которые поддерживают стабильную работу, а также те показатели, которые необходимо улучшить. После проведения анализа оценивается результативность работы вуза во времени и, соответственно, возможность проводить прогнозирование эффективности деятельности организации. Поэтому можно утверждать, что анализ эффективности деятельности вуза по специальным показателям наиболее информативен с точки зрения выявления успешных и выигрышных сторон, так и проблемных областей, которые подлежат корректировке. Например, к проверяемым показателям могут быть отнесены такие, как успеваемость обучающихся, число публикаций, трудоустройство выпускников или поступление на поствузовское обучение, грантовое или договорное финансирование, участие вуза в социально значимых проектах. Сравнение перечисленных показателей позволяет установить направленность деятельности вуза и его дальнейшую перспективу развития.

Максимальное число показателей эффективности высшей образовательной организации – 500, из них выбираются наиболее информативные в количестве 50, такой выбор подлежит изменению, так как образовательный процесс постоянно усовершенствуется и, следовательно, будут изменяться критерии оценки его эффективности.

Правильный анализ собранных данных по выбранным показателям эффективности заключается в упорядочивании сведений и выявлении ошибок. То есть информация должна быть систематизирована, проверена на наличие неточностей или недостоверных сведений, которые необходимо устранить или исправить. Затем обработанные данные по показателям эффективности деятельности вуза необходимо проанализировать, т.е. сравнить между собой, выявить корреляционные взаимосвязи между показателями и выделить высоких и низких значений, которые отражают эффективные и проблемные стороны деятельности вуза. Например, сравнивая количество посещений, которые влияют

на успеваемость, и, соответственно, размер получаемой студентом стипендии можно установить, что размер стипендии и мотивация в обучении взаимосвязаны.

Выявленные взаимосвязи являются основой для построения моделей, которые прогнозируют результаты показателей эффективности вузов, они же в свою очередь предлагают перспективные направления для развития вуза и стратегию повышения эффективности его деятельности. Например, применение прогнозной модели отражает влияние введения новой образовательной программы на число абитуриентов, а также каким образом от действительного рейтинга вуза зависит объем финансирования на научные исследования.

Рассматривая процесс анализа эффективности вуза можно определить, что он в целом направлен на выявление текущего состояния организации и разработку плана развития для достижения поставленных целей.

Анализируя математические модели, которые применяются в мониторинге образовательного процесса, можно выделить ряд их недостатков, поэтому периодически их совершенствуют.

Одним из наиболее развивающихся методов анализа эффективности деятельности вузов является встраивание в готовые системы мониторинга искусственных сетей, которые легко справляются с задачами по определению закономерностей, построением прогнозов в среде непрерывно изменяющихся данных.

Ниже представлены часто используемые модели мониторинга в образовательной организации, алгоритм формирования рейтинга вуза, а также инструменты, позволяющие достигать высоких значений рейтинговых оценок [1, 2].

Применяются разные методы для определения качества деятельности вузов. Установление неявных взаимосвязей и закономерностей между параметрами качества проводится на основе математических и статистических методов, а также корреляционного и факторного анализа исходных данных. При определении соответствия учебных программ выбранным нормам и критериям можно воспользоваться моделью «вход-выход». Также ее применяют при анализе вложений в функционирование высшего образовательного учреждения на основе измерений объема вложений за выбранный период и итоговых показателей: трудоустройство выпускников, их востребованность и уровень заработной платы. Рейтинговые оценки вузов имеют значение в классификации организаций по разным показателям. Модель «вход-выход» достаточна точна и объективна в сравнении вузов, это дает возможность проводить углубленный анализ

достижений и выделять похожие группы учреждений. Проведение такого сравнения отражается на выявлении общих тенденций и определении результативных мероприятий в образовательной системе. При использовании метода «вход-выход» появляется возможность расширить средства контроля, что позволит обеспечить более эффективное управление образовательным процессом, и будет способствовать объективности и обоснованности решений, направленных на улучшение образовательных достижений.

Модель «вход-процесс-выход» измеряет эффективность университета, изучая его на трех ключевых этапах, которые определяются данной моделью. В ходе процесса рассматриваются различные ресурсы, такие как финансирование, квалификация преподавателей и уровень обучения потенциальных обучающихся, качество образовательных программ, методов обучения и научной деятельности определяется качеством процесса. Выход состоит из уровня занятости выпускников, их доходов от выполняемой деятельности, а также научных достижений. По сути, эта модель позволяет анализировать работу университета, подчеркивая сильные и слабые стороны образовательных проектов и предполагая улучшения.

Использование динамического моделирования для контроля образовательного процесса. Данный подход дает возможность анализировать динамику успеваемости студентов в высшем учебном заведении, определяя факторы, оказывающие как положительное, так и отрицательное воздействие. Акцент делается на автоматизированной обработке данных, при этом отмечается, что темпы прогресса студентов обусловлены не только содержанием учебного плана, но и их первоначальной подготовкой, а также социально-бытовыми условиями. Специалисты советуют применять эту модель для более адекватного отслеживания изменений в учебных результатах [3].

Мониторинг качества функционирования вузов сосредоточен на сборе статистических и аналитических данных, применяя информацию о вузах и анализируя их результативность. На основании результатов данного процесса принимаются решения о продолжении деятельности вузов, которые не соответствуют некоторым показателям эффективности, то есть оказываются в группе риска, а также их филиалов.

Государственные и частные университеты России регулярно контролируются для мониторинга прогресса на уровне университета. Он основан на принципах прозрачности, сопоставимости индикаторов и учета подробностей университетов. Сбор, проверка и обзор информации, которая дает рейтинги и

эффективность университетов, становятся возможными благодаря сбору, проверке и анализу данных.

Процедура формирования рейтинга охватывает несколько этапов: определение критериев оценки, получение и подтверждение информации, вычисление итогового значения рейтинга, а также классификацию высших учебных заведений в зависимости от их результативности.

Государственная аккредитация первоначально проводилась в качестве методологии, но она не была успешной, что привело к созданию более точных систем оценки.

В дальнейшем для оценки результативности вузов был внедрен аналитический подход, разработанный консалтинговыми организациями McKinsey и General Electric. Это решение позволяло учитывать уникальные особенности каждого высшего образовательного учреждения и устанавливать его позицию в рейтинге на основе общего количества баллов, что обеспечивало высокую степень объективности [4].

Установить корреляции между высокими позициями вузов в рейтингах и их статусными характеристиками позволяет оценка динамики показателей вузов за пятилетний период. Было разработано программное обеспечение «LiftUp», в основе которого усовершенствованная методика нахождения весовых коэффициентов показателей эффективности деятельности образовательной организации. Данное приложение помогает проанализировать текущее состояние вуза, сравнить свои результаты с предыдущими периодами и спрогнозировать будущие результаты мониторинга эффективности (рисунок 1).

№	ВУЗ	Лига	Эффективный и J	Образов-я деятельность	Научно-исслед-я деятельность	Международная деятельность /Приведенный контингент	Фин.-эконом-я деятельность	Зарплата ППС	Трудоустройство	Дополн-ый показатель
1	федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»	3	Да J = 25	64.51 B	165.90 B	2.08 C	1823.27 C	205.82 A	90.00 A	4.84 A

Рисунок 1 – Интерфейс «LiftUp» (часть)

Все чаще наблюдается процесс изменения оценочных показателей эффективности деятельности высших учебных заведений, появляются новые правила, предотвращая реализацию комплексной стратегии мониторинга, поэтому выделить единую универсальную систему мониторинга эффективности на текущий день сложно.

Список литературы

1. Львович, Я.Е. Нейросетевое моделирование результатов мониторингового оценивания деятельности вузов / Я.Е. Львович, И.Л. Каширина, А.Н. Швиндт // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2017. – № 4(19). – С. 31.
2. Азарнова, Т.В. Нейросетевое моделирование взаимодействия субъектов рынка труда и образовательных услуг / Т.В. Азарнова, И.Л. Каширина, А.Н. Швиндт // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2018. – Т. 6, № 4(23). – С. 225-243.
3. Система мониторинга трудоустройства выпускников как фактор повышения эффективности образовательной деятельности вуза / А.И. Пыхтин, О.В. Овчинкин, Л.В. Широкова, А.Д. Запольский // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 2. – С. 133-137.
4. Система внутреннего мониторинга выполнения показателей эффективности деятельности вуза / О.В. Овчинкин, А.И. Пыхтин, С.В. Остроцкая, А.А. Тимошенко // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 4. – С. 50-54.

References

1. Lvovich, Ya.E. Neural network modeling of the results of monitoring evaluation of university activities / Ya.E. Lvovich, I.L. Kashirina, A.N. Schwindt // Modeling, optimization and information technologies. – 2017. – № 4(19). – P. 31.
2. Azarnova, T.V. Neural network modeling of interaction between subjects of the labor market and educational services / T.V. Azarnova, I.L. Kashirina, A.N. Schwindt // Modeling, optimization and information technologies. – 2018. – Vol. 6, No. 4(23). – Pp. 225-243.
3. The graduate employment monitoring system as a factor in improving the effectiveness of university educational activities / A.I. Pykhtin, O.V. Ovchinkin, L.V. Shirokova, A.D. Zapolsky // Modern science-intensive technologies. – 2019. – No. 2. – Pp. 133-137.
4. The system of internal monitoring of the performance of university performance indicators / O.V. Ovchinkin, A.I. Pykhtin, S.V. Ostrotskaya, A.A. Timoshenko // Modern science-intensive technologies. – 2019. – No. 4. – Pp. 50-54.

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ IDEF3 МОДЕЛИРОВАНИЯ
ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF ORGANIZING PRODUCTION
PROCESSES BASED ON IDEF3 MODELING**

Сафонова Ю.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»
г. Воронеж, Россия
kulakova7@yandex.ru

Safonova Yu.A., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov»
Voronezh, Russian Federation

Аннотация: в данной работе исследуется вопрос об оптимизации производственных процессов посредством моделирования, основанного на методологии IDEF3. Проанализированы как последовательностные, так и потоковые модели, выполнен сравнительный обзор существующих подходов, а также предложены решения для улучшения стабильности и результативности систем. Значительное внимание уделено рассмотрению моделей, включающих обратную связь, в которых изучается воздействие различных типов потоков на общую производительность. Сформулированы расчетные соотношения для определения величины потоков и рассмотрены затруднения, с которыми сталкиваются при создании моделей. Кроме того, был создан программный компонент, предназначенный для изучения потоковых моделей, что дает возможность обнаруживать потенциальные проблемы и совершенствовать рабочие процессы.

Summary: This paper examines the issue of optimization of production processes by means of modeling based on the IDEF3 methodology. Both sequential and flow models are analyzed, a comparative review of existing approaches is performed, and solutions for improving the stability and efficiency of systems are proposed. Considerable attention is paid to the consideration of models that include feedback, in which the impact of different types of flows on overall performance is studied. Calcu-

lation relationships for determining the magnitude of flows are formulated and difficulties encountered in creating models are considered. In addition, a software component was created for studying flow models, which makes it possible to detect potential problems and improve work processes.

Ключевые слова: организация производственных процессов, моделирование IDEF3, потоковые модели, последовательностные модели, обратная связь, интенсивность потока, узкие места, программное обеспечение, математическое моделирование.

Keywords: organization of production processes, IDEF3 modeling, flow models, sequential models, feedback, flow intensity, bottlenecks, software, mathematical modeling.

Отсутствие задержек и очередей в современных системах является жизненно важным аспектом, и это требуется для высокоэффективных систем. Тем не менее, для достижения такого уровня работы требуются дополнительные ресурсы. Разработка моделей и методов для анализа и оптимизации этих процессов позволит улучшить решение этих вопросов. Коммуникация, промышленные сектора, выпуск медицинских устройств и высокотехнологичных продуктов применяют такие модели для оптимизации производственных процессов различного характера.

Данная работа направлена на разработку программного компонента для анализа производственных процессов. В рамках исследования рассматриваются последовательностные и потоковые модели, выявляются их ключевые особенности и потенциальные недостатки. Создаваемое программное обеспечение обеспечит возможность моделирования потоков с учетом обратной связи, что способствует увеличению надежности и производительности системы.

Модели IDEF3 – это мощный инструмент для детального описания производственных процессов. Они не только отображают последовательность действий, но и учитывают все технологические нюансы, позволяя подробно проанализировать, как организованы потоки работ и насколько эффективно они функционируют. Ключевым элементом IDEF3 является использование специальных обозначений, которые точно определяют взаимосвязи между отдельными этапами процесса. Благодаря этому, становится возможным глубокое понимание как статической структуры процесса (его составных частей), так и его динамики (последовательности выполнения и взаимодействия этапов). В итоге,

IDEF3 обеспечивает четкое и полное представление о том, как устроен и работает производственный процесс [1, 2].

В моделировании производственных процессов используются два основных типа связи, определяющих порядок действий:

- последовательностные связи: модели по шагам, где каждый шаг запускается только после полного завершения и подтверждения предыдущего; процесс движется линейно по цепочке, что наглядно можно отобразить стрелками, указывающими однонаправленное движение от одного шага к другому; завершение этого этапа – обязательное условие для начала следующего; например, сборка автомобиля на конвейере: сначала устанавливается двигатель, затем – колеса, и только после этого – кузов;

- потоковые связи: производственный процесс представлен как совокупность нескольких потоков – это могут быть потоки данных (информация), материалов (сырье и детали), энергии и т.п., что измеряется и участвует в процессе (например, финансовые потоки или документооборот); в отличие от последовательностных моделей здесь элементы взаимодействуют более свободно, а связи между ними – двунаправленные, что означает, что один элемент может влиять на другой и наоборот, и процессы могут происходить параллельно или частично перекрываться, например, производство на фабрике, где одновременно работают несколько линий, поставляющих материалы друг другу, или обработка информации в компьютерной сети, где данные передаются в разных направлениях одновременно; двунаправленные стрелки на диаграмме модели отражают это многостороннее взаимодействие.

Для правильного описания таких моделей необходимо сначала установить тип потока. Тип потока является сложной характеристикой, зависящей от применяемого оборудования и методов, а также от особенностей перемещаемых объектов. Существует 4 вида потоков:

- 1) непрерывный поток: объекты перемещаются последовательно, не останавливаясь, входящие элементы проходят через процесс и выходят без задержек;

- 2) регулярный поток: процесс структурирован с установленными временными промежутками, что создает очередь; объекты начинают поступать через определенные временные интервалы;

- 3) постоянный поток: это разновидность регулярного потока, при которой интервалы между поступлением объектов остаются неизменными;

4) случайный поток: объекты приходят с непредсказуемыми временными промежутками, простой случайный поток характеризуется минимальным временным интервалом между поступлениями [2].

Колебания в скорости или силе потока способны вызвать осложнения и формирование зон риска. Зачастую трудности проявляются в точках слияния или разделения потоков, например, при объединении или диверсификации заданий и потоков работ.

Математические выражения, позволяющие вычислить значение интенсивности постоянного потока в моделях потоков, имеющих обратную связь:

$$\lambda_1 = k_1 \cdot (\lambda_{\text{вх}} + a \cdot \lambda_1); \lambda_{\text{вх}} = b \cdot \lambda_1; a + b = 1, \quad (1)$$

где $\lambda_{\text{вх}}$, λ_1 - входная интенсивность потока модели и интенсивность потока для параметра w_1 (см. рисунок 1), соответственно; k_1 - коэффициент передачи потока; a , b - коэффициенты разветвления потока.

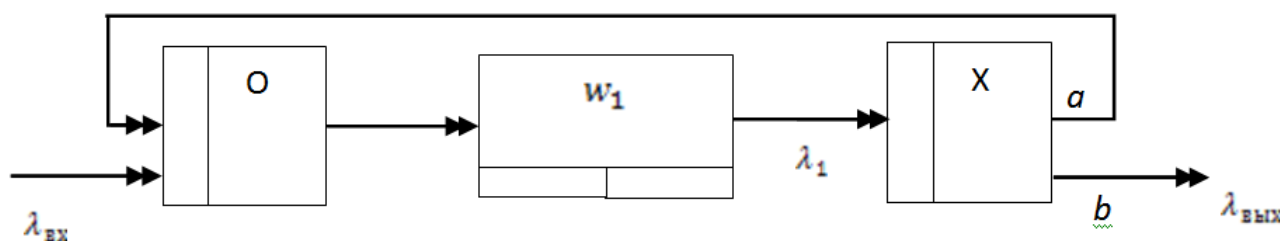


Рисунок 1 – Потокосная модель с обратной связью

Интенсивности равны:

$$\lambda_1 = \frac{k_1 \cdot \lambda_{\text{вх}}}{1-a} \lambda_{\text{вх}} = \frac{b \cdot k_1 \cdot \lambda_{\text{вх}}}{1-a \cdot k_1} = \frac{k_1 \cdot (1-a) \cdot \lambda_{\text{вх}}}{1-a \cdot k_1}, \quad (2)$$

где $\lambda_{\text{вх}}$ - интенсивность потока на входе модели; $0 < 1 - a \cdot k_1 < 1$.

Таким образом, устанавливается предел для коэффициента обратной связи a . Когда задание w_1 выступает в роли передатчика ($k=1$), это ограничение будет всегда соблюдено. Тогда

$$k_{10} = \frac{1}{1-a} > 1. \quad (3)$$

Усилитель представляет собой задачу для моделей с обратной связью. При приближении a к 1, интенсивность λ стремится к бесконечности. Далее происходит перегрузка задачи w_1 . Таким образом, модели с обратной связью оказываются сложными, когда коэффициент обратной связи близок к 1. В данной ситуации, если задача w_1 воспринимается как усилитель с условием ($k_1 > 1$), то выполняется требование по коэффициенту обратной связи модели:

$$k_{10} = \frac{k_1}{1 - a \cdot k_1} > 1. \quad (4)$$

При данном соотношении задача w_1 продолжает выполнять функцию усилителя. Когда $a \cdot k_1$ приближается к 1, интенсивность потока будет увеличиваться до бесконечности. Это неизменно указывает на необходимость перезагрузки задания w_1 . В таком случае о сложности обратной связи можно судить, когда коэффициент обратной связи приближается к $1/k_1$.

При условии, что задача w_1 – демпфер, то есть колебания с тем же $k_1 < 1$ гасятся, то ограничение на $1/k_1$ может соблюдаться. При $k_{10} = \frac{k_1}{1 - a \cdot k_1} > 1$ задача w_1 – демпфер, причем $a = \frac{1 - k_1}{k_1}$. При $a \cdot k_1 \rightarrow 1$ интенсивность потока стремится к бесконечности. Это также означает перезагрузку задания w_1 .

Описанный режим работы обратной связи не устанавливается мгновенно. Принимается t - задержка потока для задания w_1 , после чего изменение интенсивности во времени (за единицу времени учитывается интервал между входящими объектами в потоке) имеет следующий вид:

$$\lambda_1(t + \tau) = a \cdot \lambda_1(t) + \lambda_{\text{вх}}(t); \lambda_{\text{вх}}(t) = b \cdot \lambda_1(t). \quad (5)$$

Возможно определение устойчивых скоростей потока. Время достижения устойчивого состояния пакетом данных вычисляется посредством линейного программирования, используя модуль оптимизации.

Допустим, $a=0,5$ и $t=3$. Стабилизация приема объектов начинается с отметки 16 условных единиц. На иллюстрации рисунка 2 можно увидеть переходную (стремящуюся к устойчивому значению) и импульсную характеристики, отражающие динамику системы (стремится к нулю). Это указывает на то, что обратная связь функционирует должным образом, соответствуя расчетной интенсивности. В таком случае, время, необходимое для перехода из стационарного состояния в стандартный режим, увеличивается в пять раз по сравнению с задержкой потока при нормальной работе.

Обратная связь в модели производственного процесса представляет собой сложный элемент, который может вызывать проблемы. Для её эффективного регулирования необходимо определить продолжительность задержки и общее время процесса.

Рассмотрим два возможных сценария.

1. Слияние: при объединении потоков продолжительность поступления объектов остаётся неизменной, однако ветвь X может прервать выходной поток при обработке обратной связи, что нарушает регулярность процесса.

2. Длительность поступления объектов: если время поступления объектов сокращается, это может вызвать перегрузку задачи $w1$ и нарушение регулярности, особенно если выходной поток более интенсивен, чем входной.

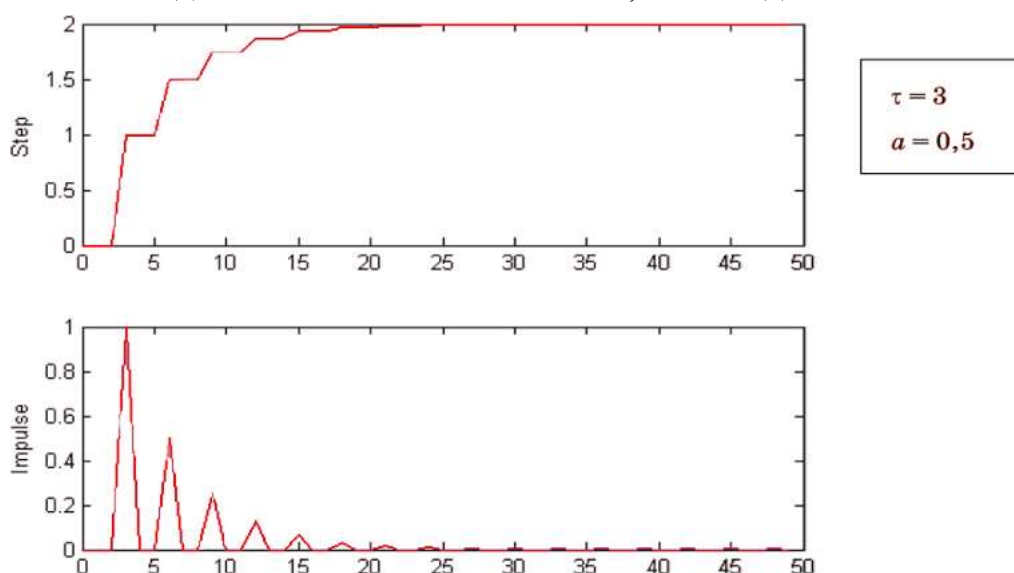


Рисунок 2 –Результат оценки времени процесса

После объединения потоков количество входящих элементов увеличивается по мере их накопления, что делает управление обратной связью сложным, особенно при наличии плавных изменений в потоке.

Был разработан программный модуль для анализа потоковых моделей и технологических процессов, основанный на использовании IDEF3-моделей, позволяющих учитывать различные варианты потоков. Этот подход помогает выявить потенциальные риски и улучшить точность моделирования сложных сценариев (рисунок 3).

Используя математические зависимости, и проводя анализ технологических стадий с помощью IDEF3 моделей для процессов различных типов получены численные значения индикаторов потоков процесса, что позволяет определить узкие места, и соответственно, оптимизировать решения по улучшению производства в целом.

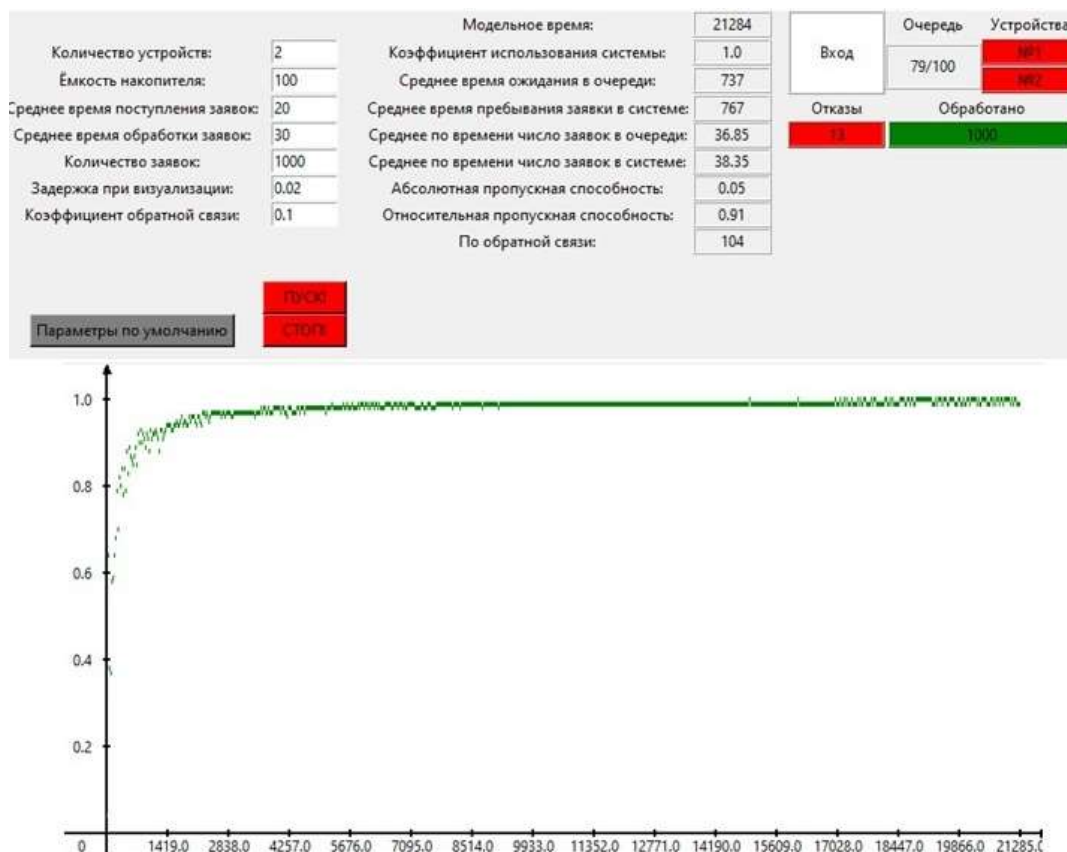


Рисунок 3 – Интерфейс программного модуля

Список литературы

1. Бритов, Г.С. Метод формального описания PFDD-диаграмм IDEF3-технологии / Г.С. Бритов // Информационно-управляющие системы. – 2014. – № 2. – С. 25-32.
2. Осипова, Т.Ф. Анализ потоков в бизнес-процессах по IDEF3-моделям / Т.Ф. Осипова // Актуальные проблемы экономики и управления. – 2015. – № 4(8). – С. 155-162.

References

1. Britov, G.S. Method of formal description PFDD diagram IDEF3-technology / G.S. Britov // Information and control systems. 2014. No. 2. pp. 25-32.
2. Osipova, T.F. Analysis of flows in business processes using IDEF3 models / T.F. Osipova // Actual problems of economics and management. – 2015. – № 4(8). – Pp. 155-162.

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОЙ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
СУШКИ ПАРКЕТНОЙ ФРИЗЫ В ВАКУУМНЫХ КАМЕРАХ
RESEARCH AND DEVELOPMENT OF AN INNOVATIVE AUTOMATED
CONTROL SYSTEM FOR THE PROCESS OF DRYING PARQUET FRIEZE
IN VACUUM CHAMBERS**

Студеникин П.В., магистрант

Мещерякова А.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет

имени Г.Ф. Морозова»,

г. Воронеж, Россия

Studenikin P.V., master's student

Meshcheryakova A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE « Voronezh State University of Forestry and Technologies

named after G.F. Morozov»,

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматривается процесс автоматизированного управления сушкой паркетной фриззы в вакуумных камерах. Анализируются существующие системы регулирования температуры и влажности сушильного агента, выявляются её недостатки и предлагаются методы их устранения. В ходе исследования разрабатывается модернизированная система управления с использованием корректирующих звеньев и гибкой обратной связи, что позволяет снизить инерционность процессов и повысить качество продукции.

Summary: The article examines the process of automated control of drying parquet friezes in vacuum chambers. The existing systems for regulating the temperature and humidity of the drying agent are analyzed, their shortcomings are identified and methods for their elimination reposed. During their search, a modernized control system is being developed using corrective links and flexible feedback, which makes it possible to reduce the inertia of processes and improve product quality.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, сушка паркетной фриззы, вакуумная сушильная камера, ПИД-регулятор, корректирующее звено, положительная обратная связь, инерционность системы, температурное регулирование, влажность сушильного агента, динамические характеристики.

Keywords: automated control system, drying of parquet frieze, vacuum drying chamber, PID controller, correcting link, positive feedback, system inertia, temperature regulation, drying agent humidity, dynamic characteristics.

Процесс сушки древесины является важным этапом производства паркетной фриззы, влияющим на её физико-механические характеристики. Оптимизация этого процесса требует точного контроля параметров сушильного агента, таких как температура и влажность [1]. В современных вакуумных сушильных камерах используются автоматизированные системы управления (АСУ), однако их недостаточная адаптивность к внешним возмущениям и инерционность вызывают перегрев и неравномерность сушки [2].

Целью данной работы является разработка и исследование усовершенствованной системы автоматического регулирования параметров сушильного агента, обеспечивающей стабильность процесса сушки и улучшение качества продукции.

Стандартная система автоматизированного управления процессом сушки паркетной фриззы включает в себя ПИД-регуляторы температуры и влажности сушильного агента, управляющие подачей пара и конденсацией влаги (рисунок 1).

Однако классическая ПИД-регуляция не учитывает влияние возмущающих факторов, таких как колебания температуры нагревающего пара, что приводит к неустойчивости процесса [3].

Одним из способов повышения эффективности управления является внедрение корректирующего звена, которое компенсирует влияние внешних возмущений (рисунок 2). Данный подход позволяет сглаживать колебания температуры сушильного агента и снижать инерционность переходных процессов.

Для повышения стабильности процесса сушки предлагается модернизация автоматизированной системы управления за счёт введения двух ключевых элементов: корректирующего звена $\Phi(P)$, которое компенсирует влияние колебаний температуры греющего пара; и гибкой положительной обратной связи $W_{oc}(P)$, снижающей инерционность системы [4].

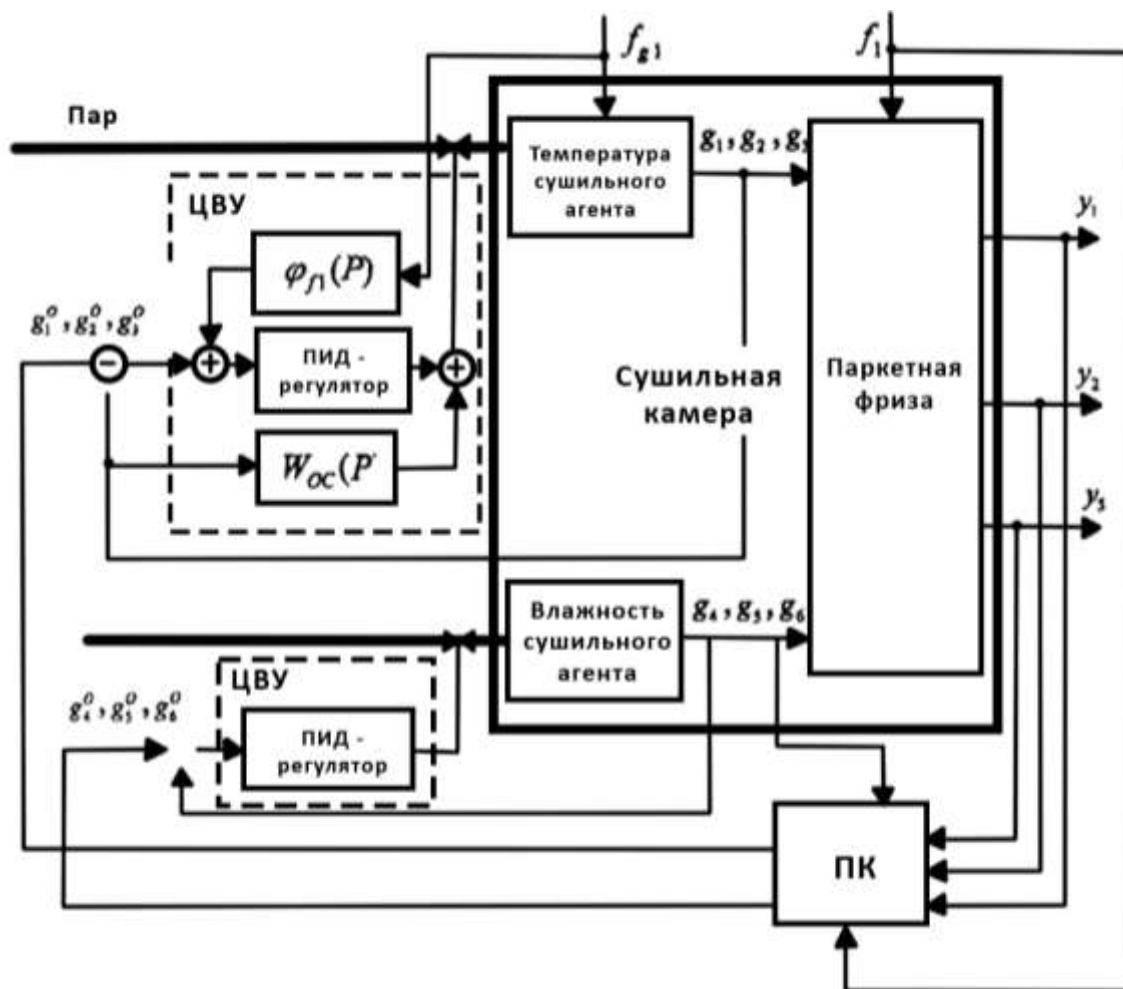


Рисунок 1 – Структурная схема САУ процессом сушки паркетной фрезы

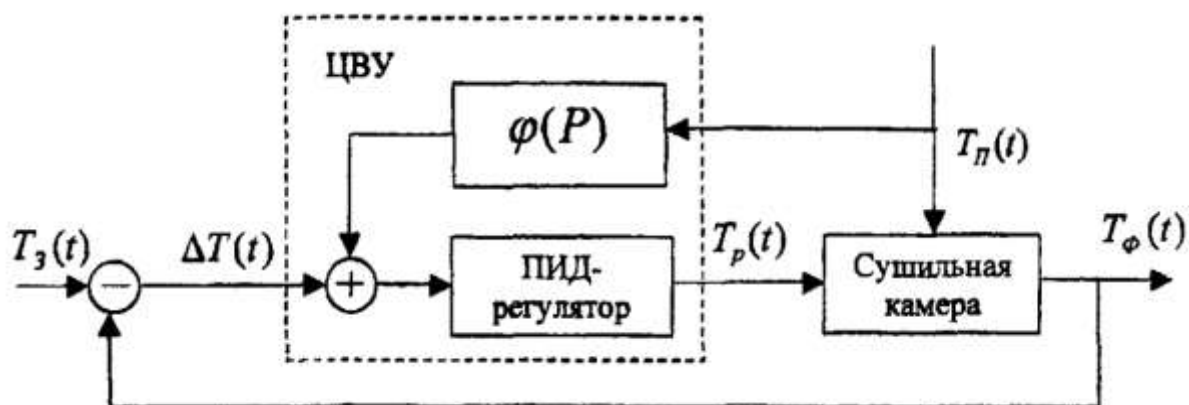


Рисунок 2 – Структурная схема АСР температуры сушильного агента инвариантной к возмущающему воздействию

Одним из главных недостатков традиционной системы является чувствительность к колебаниям температуры нагревающего пара $T_n(t)$. Это приводит к значительным отклонениям фактической температуры сушильного агента $T_o(t)$ от заданного значения $T_3(t)$. Для компенсации этого эффекта в закон ПИД-регулирования вводится корректирующее звено $\varphi(P)$, которое учитывает влия-

ние возмущений и форсированно адаптирует управляющее воздействие. Структурная схема такой системы представлена на рисунке 2.

В результате использования данного метода удаётся значительно снизить влияние колебаний температуры пара на работу системы, что подтверждается переходными характеристиками системы (рисунок 3).

Для уменьшения инерционности выходных параметров АСУ предлагается использование гибкой положительной обратной связи $W_{oc}(P)$ (рисунок 4).

Данный механизм позволяет ускорить реакцию системы на изменение входного сигнала без значительного увеличения перерегулирования. Принцип работы заключается в том, что положительная обратная связь формирует дополнительное воздействие, компенсирующее запаздывание реакции системы. В результате переходный процесс становится более плавным, а перегрев или недостаточная сушка древесины сводятся к минимуму.

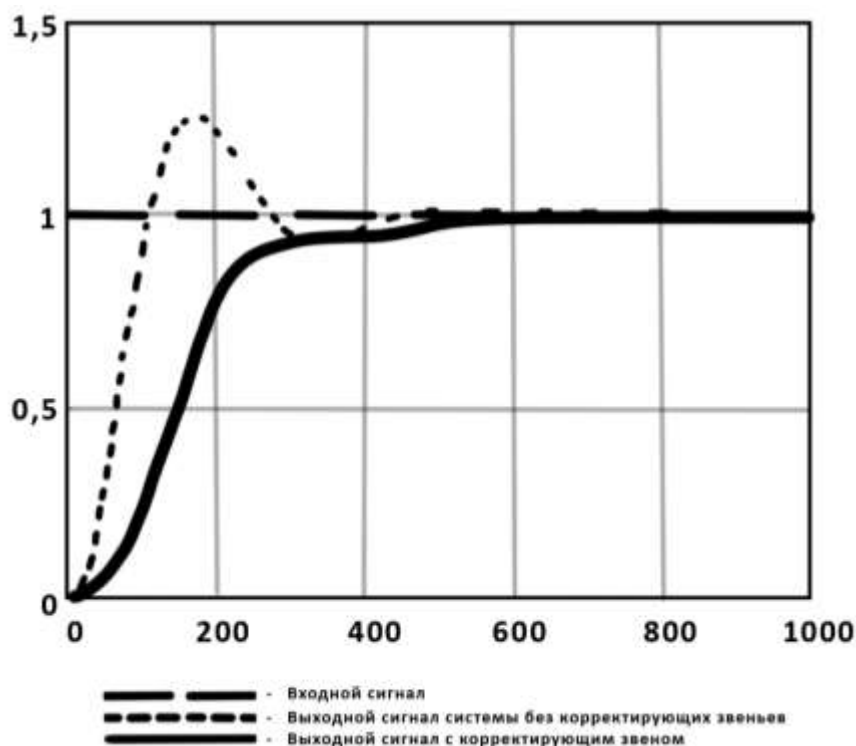


Рисунок 3 – Переходные характеристики АСУ температуры сушильного агента инвариантной к колебаниям температуры в камере

Для оценки эффективности разработанной системы были проведены эксперименты, моделирующие процессы регулирования температуры и влажности сушильного агента.

На рисунке 3 представлены переходные характеристики системы регулирования температуры сушильного агента:

- штриховая линия — поведение системы без корректирующего звена. Наблюдаются значительные колебания и высокая инерционность;

- сплошная линия — система с корректирующим звеном $\Phi(P)$. Видно значительное уменьшение перерегулирования и стабилизация температуры.

Результаты моделирования подтверждают, что внедрение корректирующего звена позволяет значительно снизить влияние внешних возмущений и повысить устойчивость автоматизированной системы управления.

На рисунке 4 показано, как использование гибкой положительной обратной связи влияет на динамику регулирования. В сравнении с традиционной ПИД-регуляцией:

- время выхода на установившийся режим сокращается;
- уменьшается инерционность системы;
- исключаются резкие скачки температуры, которые могли бы привести к перегреву или недосушиванию древесины.

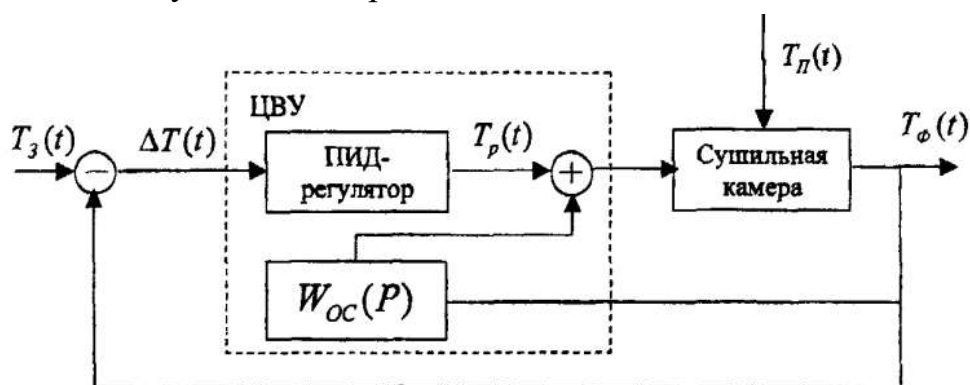


Рисунок 4 – Структурная схема системы, охваченной гибкой положительной обратной связью

Таким образом, предложенная структура АСУ улучшает качество управления процессом сушки паркетной фрезы и повышает энергетическую эффективность вакуумных сушильных камер.

В ходе исследования разработана усовершенствованная система автоматического управления процессом сушки паркетной фрезы в вакуумных камерах. Введение корректирующего звена позволило минимизировать влияние колебаний температуры нагревающего пара, а использование гибкой положительной обратной связи способствовало снижению инерционности системы.

Результаты моделирования показывают, что предложенные методы обеспечивают более стабильный контроль параметров сушильного агента, сокращая время переходных процессов и улучшая качество конечного продукта.

Перспективным направлением дальнейших исследований является адаптация системы к различным породам древесины с учётом их индивидуальных характеристик влагопоглощения и теплопроводности.

Список литературы

1. Леонович, А.А. Технология деревообработки: учебное пособие / А.А. Леонович. – Минск: БГТУ, 2020. – 356 с.
2. Иванова, Л.М. Энергосбережение при сушке древесины: учебное пособие / Л.М. Иванова. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. – 198 с.
3. Николаев, С.В. Программно-аппаратные комплексы для управления сушильными процессами / С.В. Николаев // Лесной журнал. – 2022. – №2. – С. 67-74.
4. Фёдоров, А.П. Оптимизация режимов сушки паркетной фриззы / А.П. Фёдоров // Технологии деревообработки. – 2021. – №3. – С. 88–95.

References

1. Leonovich, A.A. Woodworking technology: a tutorial / A.A. Leonovich. – Minsk: BSTU, 2020. – 356 p.
2. Ivanova, L.M. Energy saving during wood drying: a tutorial / L.M. Ivanova. – Yekaterinburg: USLTU, 2020. – 198 p.
3. Nikolaev, S.V. Software and hardware systems for controlling drying processes / S.V. Nikolaev // Forestry magazine. – 2022. – No. 2. – P. 67-74.
4. Fedorov, A.P. Optimization of parquet frieze drying modes / A.P. Fedorov // Woodworking technologies. – 2021. – No. 3. – Pp. 88-95.

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ СТЕКЛА
И ВЫЯВЛЕНИЕ ИХ ПРЕИМУЩЕСТВ И НЕДОСТАТКОВ
ANALYSIS OF MODERN GLASS PROCESSING TECHNOLOGIES AND
IDENTIFICATION OF THEIR ADVANTAGES AND DISADVANTAGES**

Черныш Д.С., магистрант

Мещерякова А.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Россия

Chernysh D.S., master's student

Meshcheryakova A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE « Voronezh State University of Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov»,
Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматриваются современные технологии обработки стекла для мебельной промышленности, анализируются проблемы традиционных методов производства и предлагается концепция автоматизированной системы изготовления стеклоизделий.

Summary: The article examines modern glass processing technologies for the furniture industry, analyzes the problems of traditional production methods and proposes a concept for an automated glass manufacturing system.

Ключевые слова: автоматизация, обработка стекла, мебельная промышленность, лазерная резка, экономическая эффективность.

Keywords: automation, glass processing, furniture industry, laser cutting, cost efficiency.

Современная мебельная промышленность предъявляет высокие требования к качеству и дизайну стеклоизделий. Использование стеклянных элементов в корпусной и офисной мебели требует точной обработки, устойчивости к механическим и термическим воздействиям, а также эстетической привлекательности [1]. Однако традиционные методы обработки стекла (механическая резка,

шлифовка, сверление) характеризуются высокой долей брака, большим потреблением энергии и низкой производительностью.

В последние годы активно развивается автоматизация производственных процессов, позволяющая повысить точность обработки, снизить затраты и улучшить характеристики готовой продукции. Однако многие предприятия мебельной отрасли продолжают использовать устаревшие технологии из-за высокой стоимости модернизации оборудования и недостаточной информированности о возможностях автоматизированных систем [2].

Традиционные методы изготовления стеклоизделий в мебельном производстве являются несовершенными, к основным проблемам ключевых процессов производства можно отнести следующие [3]:

- Механическую резку стекла – характеризуется высокой погрешностью, требует последующей обработки кромок.

- Ручную полировку и обработку кромок – трудоемкий процесс, увеличивающий себестоимость продукции.

- Термальную закалку – требует значительных энергозатрат и сложного контроля температурного режима.

- Сверление отверстий механическим способом – ограничено по диаметру и точности сверления.

Лазерная резка стекла является одной из самых передовых технологий, обеспечивающих высокую точность обработки. Она основана на принципе локального нагрева поверхности стекла лазерным лучом с последующим охлаждением, что приводит к образованию контролируемого разлома.

Преимущества:

- Высокая точность (до $\pm 0,1$ мм);

- Отсутствие механического контакта, сниженный риск микротрещин;

- Возможность сложной фигурной резки.

Недостатки:

- Высокая стоимость оборудования;

- Требуется точной настройки параметров (мощности, скорости резки).

В таблице 1 приведён обзор возможностей технологии лазерной резки стекла.

Таблица 1 – Обзор возможностей технологии лазерной резки стекла

Параметр	Значение
Точность резки	$\pm 0,1$ мм
Скорость резки	до 2 м/с
Максимальная толщина стекла	12 мм
Потребляемая мощность лазера	200–500 Вт

Закалка стекла [4]. Процесс закалки заключается в нагреве стекла до 600–700°C с последующим резким охлаждением воздухом. Это увеличивает прочность материала в 5–7 раз по сравнению с обычным стеклом.

Преимущества:

- Высокая механическая прочность;
- Устойчивость к температурным перепадам;
- При разрушении стекло рассыпается на безопасные осколки.

Недостатки:

- Невозможность механической обработки после закалки;
- Высокое энергопотребление.

В таблице 2 приведён обзор возможностей технологии закалки стекла.

Таблица 2 – Обзор возможностей технологии закалки стекла

Параметр	Значение
Температура нагрева	600–700°C
Время закалки	4–6 мин
Прочность на изгиб	120–200 МПа
Энергопотребление	50–100 кВт·ч на 1 м ²

Автоматизированная обработка кромок. Для повышения безопасности и эстетической привлекательности кромки стекла подвергаются шлифовке и полировке [5]. Современные автоматизированные линии позволяют выполнять этот процесс без участия оператора.

Преимущества:

- Высокая скорость обработки;
- Минимальный риск появления дефектов;
- Возможность обработки сложных контуров.

Недостатки:

- Дорогостоящее оборудование;
- Требования к точности подачи стекла.

В таблице 3 приведён обзор возможностей технологии автоматизированной обработки кромок.

Таблица 3 – Обзор возможностей технологии автоматизированной обработки кромок

Параметр	Значение
Скорость обработки	3–10 м/мин
Погрешность шлифовки	$\pm 0,05$ мм
Чистота обработки (Ra)	до 0,02 мкм

Автоматизированное сверление отверстий. Традиционные механические сверлильные станки заменяются на автоматические установки, использующие алмазные коронки или лазерные технологии.

Преимущества:

- Высокая точность и скорость сверления;
- Возможность обработки стекла разной толщины;
- Отсутствие сколов.

Недостатки:

- Ограничения по размеру и форме отверстий;
- Высокая стоимость оборудования.

В таблице 4 приведён обзор возможностей технологии автоматизированного сверления отверстий.

Таблица 4 – Обзор возможностей технологии автоматизированного сверления отверстий

Параметр	Значение
Диаметр отверстий	3–50 мм
Точность позиционирования	$\pm 0,1$ мм
Скорость сверления	5–10 сек/отверстие

Анализ современных технологий показывает, что наибольшую эффективность дает комплексная автоматизация производства стеклоизделий. Использование лазерной резки, автоматической шлифовки кромок и сверления, а также внедрение роботизированных систем транспортировки и сборки позволяют значительно повысить производительность и качество продукции.

Автоматизированная система обработки стекла для мебельного производства должна обеспечивать минимизацию человеческого фактора, повышение

производительности и снижение затрат. Разработка такой системы включает выбор технологического оборудования, программного обеспечения и алгоритмов управления.

Автоматизированная линия обработки стеклоизделий должна включать следующие ключевые модули:

- Система загрузки стекла (автоматические манипуляторы для подачи листов).
- Модуль лазерной резки (точная резка с минимальными отходами).
- Станции шлифовки и полировки кромок (автоматическое устранение дефектов).
- Автоматизированное сверление отверстий (прецизионное сверление без сколов).
- Станция закалки (термическое упрочнение стекла).
- Система транспортировки и складирования (роботизированные манипуляторы).
- Центральный управляющий модуль (интеграция всех процессов).

Современные технологии обработки стекла, такие как лазерная резка, автоматизированная шлифовка кромок, сверление отверстий и термообработка, позволяют повысить точность изделий и снизить процент брака. Разработка автоматизированной системы включает интеграцию высокоточных станков, роботизированных манипуляторов и цифровых систем управления (SCADA, ЧПУ). Это позволяет минимизировать влияние человеческого фактора. Математическое моделирование подтверждает, что автоматизация снижает энергозатраты на 33% и себестоимость производства на 24%. Экономическая эффективность внедрения автоматизированной системы выражается в снижении производственных затрат, увеличении скорости выпуска изделий и повышении их качества.

Также можно обозначить следующие перспективы развития рассматриваемой технологии:

- использование ИИ и машинного обучения для прогнозирования дефектов и оптимизации работы оборудования.
- внедрение роботизированных систем для автоматической сборки стеклянных конструкций.
- применение аддитивных технологий (3D-печать стеклом) для создания сложных форм без отходов.

– разработка энергоэффективных решений для снижения затрат на термообработку стекла.

– автоматизация стекольного производства в мебельной отрасли — это ключ к снижению себестоимости, увеличению конкурентоспособности и выпуску изделий высокого качества.

Список литературы

1. Иванов, А. В. Современные методы лазерной обработки стекла / А.В. Иванов, С.Н. Петров // Вестник инженерных технологий, 2021. – 256 с.
2. Смирнов, В.Л. Автоматизированные системы обработки стекла / В.Л. Смирнов // Научные труды Московского технологического университета, 2022. – 148 с.
3. Соколова, Н.В. Контроль качества стеклоизделий / Н.В. Соколова // Материалы и технологии, 2021. – 431 с.
4. Лебедев, П.А. Закалка стекла: современные подходы и технологии / П.А. Лебедев // Технический вестник, 2020. – 412 с.
5. Николаев, Ю.С. Лазерные технологии в стеклообработке / Ю.С. Николаев // Инженерный журнал, 2021. – 145 с.

References

1. Ivanov, A. V. Modern methods of laser glass processing / A. V. Ivanov, S. N. Petrov // Bulletin of Engineering Technologies, 2021. - 256 p.
2. Smirnov, V. L. Automated glass processing systems / V. L. Smirnov // Scientific works of the Moscow Technological University, 2022. - 148 p.
3. Sokolova, N. V. Quality control of glass products / N. V. Sokolova // Materials and technologies, 2021. - 431 p.
4. Lebedev, P. A. Glass tempering: modern approaches and technologies / P. A. Lebedev // Technical Bulletin, 2020. - 412 p.
5. Nikolaev, Yu. S. Laser technologies in glass processing / Yu. S. Nikolaev // Engineering Journal, 2021. – 145 p.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРХИТЕКТУР СВЕРТОЧНЫХ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF CONVOLUTIONAL NEURAL
NETWORK ARCHITECTURES**

Шестаков Д.В., студент

Евдокимова С.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

dmitrys4estakov@yandex.ru

Shestakov D.V., student

Evdokimova S.A., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В работе проводится сравнение наиболее популярных архитектур сверточных нейронных сетей, их преимущества и недостатки, области применения. Рассматриваются такие нейронные сети, как ALEXNET, ZFNET, VGG, GOOGLNET, RESNET.

Summary: The paper compares the most popular architectures of convolutional neural networks, their advantages and disadvantages, and areas of application. Neural networks such as ALEX NET, ZF NET, VG, GOOGLNET, RESET are analyzed.

Ключевые слова: Свёрточная нейронная сеть, машинное обучение, свертка, фильтр, подвыборка, функция активации.

Keywords: Convolutional neural network, machine learning, filter, subsample, activation function.

Свёрточные нейронные сети (CNN) стали большим достижением в области компьютерного зрения, с развитием машинного обучения CNN продемон-

стрировали впечатляющую эффективность в решении широкого спектра задач [1].

CNN была предложена Яном Лекуном в 1988 году [2]. Стоит сказать, что более успешно сверточные сети применяются как раз в работе с изображениями и видео. CNN бывают одномерными, такие сети работают с временными рядами, аудио и текстом, а также применяются для обработки естественного языка. Но сама суть сверточных нейронных сетей и их основное отличие заключается в работе с двумерными и трехмерными данными. На эту роль подходят как раз изображения и видео (третья мера – время).

Модель нейрона может быть представлена следующим образом (рисунок 1) [3]: имеется I – множество нейронов сети; $V = \{(i, j) | i, j \in N\}$ – множество связей между входным i -ым и выходным j -ым нейроном; $w: V \rightarrow R, w(i, j)$ или $w_{i,j}$ – веса связей между нейронами i и j . К j -ому нейрону функция активации доставляет выходы $x_1, x_2, \dots, x_n$ нейронов, имеющих связь с j -ым нейроном, и присоединяет к ним веса $w_{i,j}$, формируя вход нейрона net_j , определяемый по формуле:

$$net_j = \sum_{i=1}^n w_{i,j} \cdot x_i + w_0, \quad (1)$$

где w_0 – смещение.

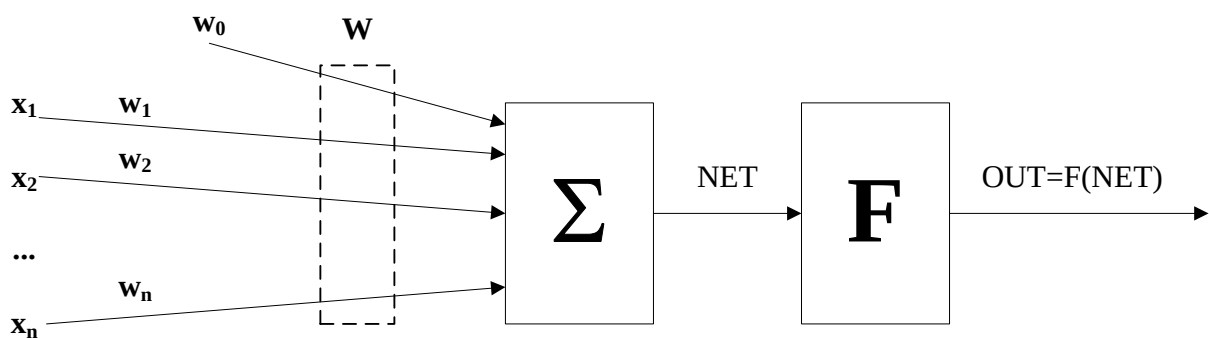


Рисунок 1 – Модель нейрона

На поступивший сигнал реакция каждого нейрона определяется с помощью функции активации:

$$a_j = F(net_j, a_{j-1}, b_j), \quad (2)$$

где a_j – состояние активации j -го нейрона;

b_j – пороговое значение j -го нейрона, определяемое как максимальное значение градиента функции активации.

Структура свёрточной нейронной сети состоит из следующих слоев [4]:

1. Входной слой (Input layer), основная задача которого заключается в получении изображения в виде массива чисел. Любые рисунки или видеокадры представляют собой упорядоченный набор пикселей, каждый пиксель содержит набор значений от 0 до 255, описывающих цвет (RGB) и его интенсивность.

2. Свёрточный слой (Convolutional layer) позволяет выделить важные детали изображения, а всю лишнюю информацию (например, фон) убрать. Фильтры представляют собой матрицы, которые скользят по изображению и создают новую матрицу с помощью различных функций (рисунок 2). Элементы ядра называются весами свёрточного слоя, они настраиваются в процессе обучения согласно заданному оптимизатору. В большинстве алгоритмов дополнительно к свертке используется операция суммирования для того, чтобы при нулевых входных данных свертки получить результат, отличный от нуля.

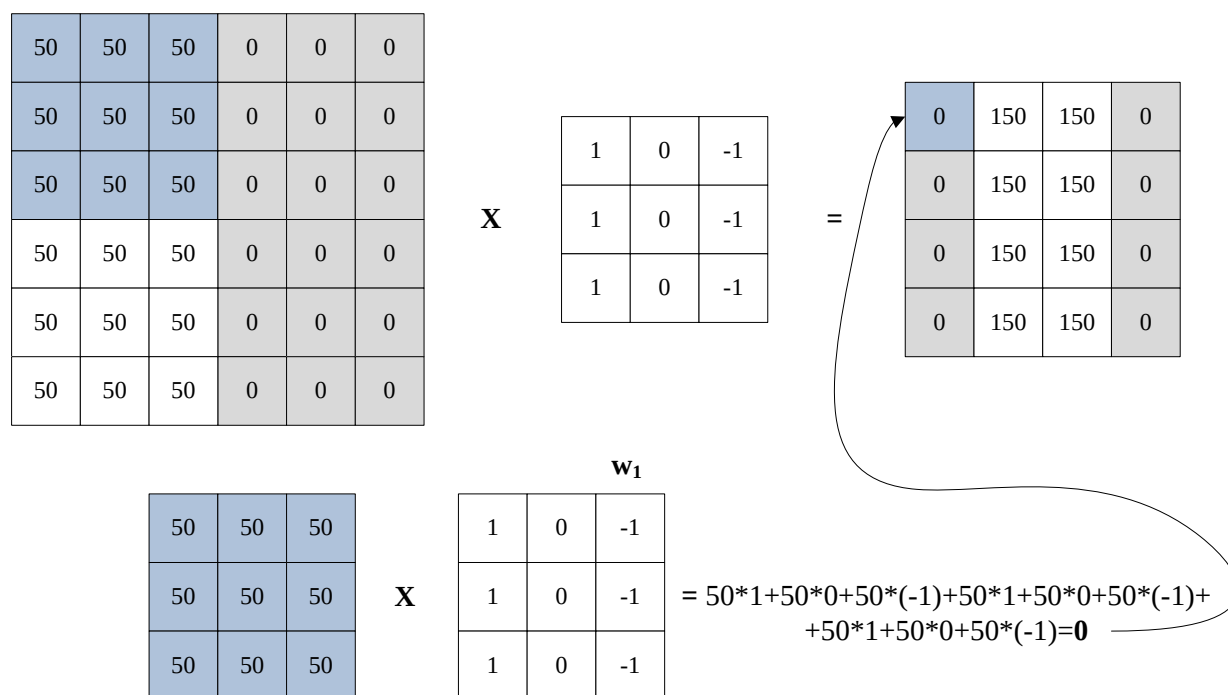


Рисунок 2 – Слой свертки

3. Слой активации (Activation layer) располагается между любыми двумя слоями и использует простые функции активации, которые необходимы для добавления нелинейности в модель, что улучшает и ускоряет работу сети с минимальными затратами.

4. Пулинговый слой (Pooling layer) уменьшает размерность карт признаков, сохраняя при этом важные свойства и снижая вычислительные затраты. Это помогает нейросети эффективно обрабатывать большие изображения. Существуют несколько способов выполнения пулинга: по максимальному (рису-

нок 3) или среднему значению в матрице заданного размера ядра (рисунок 4), взвешенному среднему значению на основании расстояния относительно центрального пикселя и т.д. [5]. Используя комбинацию слоев свертки и слоев пулинга получается основной структурный элемент свёрточной нейронной сети.

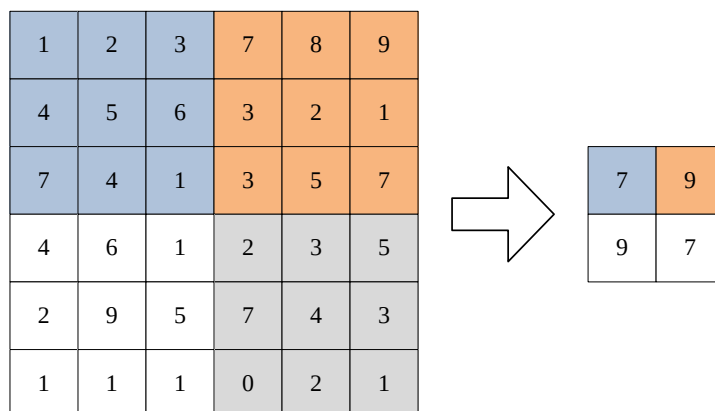


Рисунок 3 – Пулинг по максимальному значению

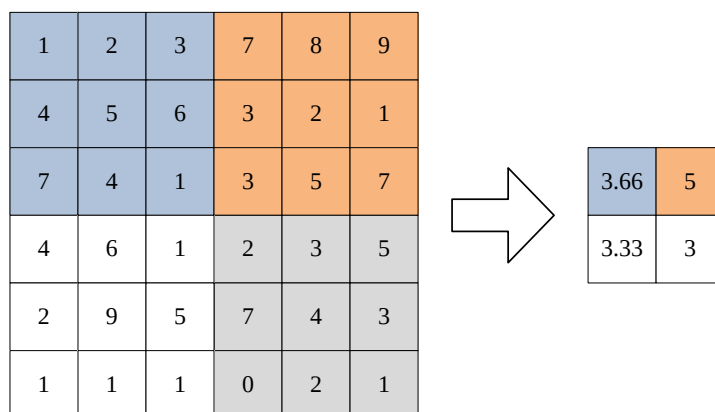


Рисунок 4 – Пулинг по среднему значению

5. Выпрямляющий слой (Flattening layer) – этот слой просто преобразует карты признаков в одномерный массив для дальнейшей обработки в следующем слое.

6. Полносвязные слои (Fully Connected layers) соединяют все нейроны текущего слоя с нейронами предыдущего, что позволяет комбинировать все признаки для окончательной классификации. В результате двумерная карта признаков преобразуется в одномерный вектор и получается финальный результат.

7. Выходной слой (Output layer). На этом этапе вычисляется вероятность принадлежности изображения к определенному классу.

Обработка изображений с помощью CNN имеет следующие особенности [4]:

1. Изображения представляют собой объекты с большим количеством признаков;

2. Изображение в формате RGB размера 640×480 будет иметь ~1млн признаков, потому что признаком является не только каждый пиксель, но и его интенсивность;

3. В отличие от полносвязной сети, каждый нейрон свёрточного слоя принимает на вход только часть исходного изображения;

4. Операция свёртки требовательна к вычислительным ресурсам;

5. Для свертки RGB изображения размера 256×256 фильтром 5×5 необходимо выполнить ~5млн операций умножения;

6. На практике операцию свертки сводят к перемножению матриц;

7. В отличие от полносвязных, свёрточные сети содержат меньше параметров, поэтому они менее склонны к переобучению.

Для того чтобы модель работала, необходимо ее обучить. Это значит, что для того, чтобы она понимала, что изображено на картинке, ей сначала нужно эти картинки «показать». Для обучения модели выбирается функция ошибки и оптимизатор. Функция ошибки определяет разницу между предсказаниями модели и истинными значениями меток. Оптимизатор вычисляет оптимальные веса модели таким образом, чтобы минимизировать ошибки.

При сравнении архитектур свёрточных нейронных сетей будем рассматривать их следующие характеристики [3, 4]:

1. Глубина сети: количество слоев в сети, включая свёрточные, пулинговые и полносвязные слои. Глубокие сети могут лучше улавливать сложные паттерны, но могут быть более подвержены проблемам переобучения и требуют больше вычислительных ресурсов.

2. Типы слоев: типы используемых слоев, такие как свёрточные, пулинговые, полносвязные, нормализационные слои и слои с регуляризацией. Различные комбинации этих слоев могут влиять на способность сети к обобщению и устойчивость к шуму.

3. Размер фильтров: размеры фильтров (ядер) в свёрточных слоях, такие как 3×3 , 5×5 или 11×11 . Более крупные фильтры могут улавливать более общие признаки, но требуют больше вычислительных ресурсов.

4. Функции активации: виды используемых функций активации, таких как ReLU, Leaky ReLU, Sigmoid или Tanh. Выбор функции активации может влиять на скорость сходимости и способность сети к обучению.

5. Регуляризация: методы регуляризации, такие как Dropout, Batch Normalization или L2 регуляризация. Регуляризация помогает предотвратить переобучение и улучшить обобщающую способность модели.

6. Архитектурные инновации: наличие специализированных архитектурных компонентов, таких как Residual Blocks (в ResNet), Inception модули (в GoogLeNet) или Dense Blocks (в DenseNet).

7. Количество параметров: общее количество обучаемых параметров в сети. Более сложные сети с большим количеством параметров могут лучше улавливать сложные паттерны, но требуют больше данных и вычислительных ресурсов для обучения.

8. Скорость и эффективность: время выполнения одного прохода и обратного прохода, а также использование памяти. Эти факторы важны для оценки применимости сети в реальных условиях.

Для удобства будем рассматривать нейронные сети по мере их появления и по возрастанию их мощностей.

AlexNet – это сверточная нейронная сеть, разработанная А. Крижевским, И. Суцкевером и Д. Хинтоном в 2012 г. Она была представлена на конкурсе ImageNet 2012 и одержала в нем победу, благодаря использованию глубоких архитектур и графических процессоров (GPU) [6].

Архитектура AlexNet состоит из восьми слоев, пять из которых являются сверточными слоями, а три – полносвязными. AlexNet был обучен на большом наборе данных ImageNet, который содержит миллионы изображений с тысячами классов объектов. Благодаря этому сеть смогла достичь высокой точности в классификации изображений. Ошибка AlexNet составляет 15,3% [6].

В AlexNet используется функция активация Relu, определяемая как:

$$F(x) = \begin{cases} x, & \text{если } x \geq 0; \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}, \quad (3)$$

применяется после каждого свёрточного и полносвязного слоя. Дропаут (Dropout) используется перед первым и вторым полносвязными слоями.

AlexNet проходит 90 эпох обучения, для оптимизации параметров модели используется метод SGD (Stochastic Gradient Descent) с импульсом, что позволяет быстрее скорректировать направление очередного шага.

Сегодня AlexNet уже считается устаревшей моделью, однако она заложила основу для дальнейшего развития нейронных сетей, таких как VGG, ResNet и другие современные архитектуры.

ZFNet представляет собой модификацию сети AlexNet, разработанная с целью улучшения ее архитектуры путем более глубокого анализа ошибок, возникающих на этапе обучения. В 2013 году ZFNet победила на соревновании ILSVRC с ошибкой 11,2% [7]. Этого удалось достичь благодаря точной

настройке гиперпараметров (размер фильтров и их количество, скорость обучения, размер пакетов и т. д.). В ZFNet в первом свёрточном слое размер фильтра равен 7×7 , шаг – 2, а количество фильтров в чистых свёрточных слоях сети (3, 4, 5).

Разработчики ZFNet М. Цилер и Р. Фергюс предложили систему визуализации активаций промежуточных слоев сети для понимания того, какие именно особенности изображений наиболее важны для классификации. Это помогло им выявить ошибки в архитектуре и оптимизировать ее параметры.

Идеи, заложенные в сетях ZFNet, были использованы в VGG и ResNet.

VGG (VisualGeometryGroup) – это семейство свёрточных нейронных сетей, разработанных исследовательской группой VisualGeometryGroup Оксфордского университета в 2014 году [8].

Основной особенностью архитектуры VGG является использование небольших фильтров 3×3 , которые применяются последовательно через несколько слоев, что позволяет более точно выделять детали изображения. VGG использует пулинг по максимальному значению с окном 2×2 и шагом 2. Так же, как и AlexNet, в VGG применяется функция активации Relu, что позволяет сети быстрее обучаться. После нескольких свёрточных слоев идут два полносвязных слоя с 4096 нейронами каждый, а третий слой – 1000 нейронов. Количество ошибок было сокращено до 7,3%.

В настоящее время существует несколько версий сети VGG, различающихся глубиной и количеством параметров: VGG11 (8 сверток, 3 полносвязных слоя); VGG13 (добавлены дополнительные свёрточные слои); VGG16 (13 сверток, 3 полносвязных слоя); VGG19 (16 сверток). Самой популярной версией является VGG16.

Недостатками VGG является большое количество параметров модели, что требует значительных вычислительных ресурсов, и медленная скорость работы.

GoogLeNet (CNN от компании Google) была разработана в 2014 году и стала победителем конкурса ImageNet с ошибкой 6,7%. GoogLeNet использует модуль Inception, который объединяет несколько типов сверток и пулинга внутри одного блока. Это позволило значительно увеличить глубину модели, сохраняя при этом относительно небольшое количество параметров.

Структура модуля Inception включает параллельные потоки обработки, где выполняются различные операции над входящими данными, включая свертки разного размера и пулинги. Результаты всех потоков объединяются по размеру канала, чтобы сформировать выходные данные, передаваемые следу-

ющему блоку [9]. Затем исходные блоки накладываются друг на друга, по одному слою за раз. Таким образом, вводится разреженный тип и моделируется оптимальная топология нейронной сети. Для уменьшения общего количества параметров, в начальный блок добавляется свертка 1×1 , что эффективно уменьшает размер объекта и позволяет избежать увеличения количества параметров.

Архитектура сети GoogleNet состоит из 22 слоев с параметрами, но общее количество слоев, используемых для построения сети, составляет 100.

В качестве недостатков GoogleNet можно отметить сложность понимания и интерпретации многослойных модулей Inception, затухание градиентов по мере прохождения через слои, большое количество гиперпараметров и высокие требования к вычислительным ресурсам. Эти ошибки разработчики постарались исправить в следующих версиях Inception v2, v3 и v4.

ResNet (Residual Network, в переводе с англ. – остаточная сеть) разработана исследователями из Microsoft Research Asia в 2015 году, сеть использует остаточные связи, позволяющие строить чрезвычайно глубокие сети, избегая проблем, связанных с затуханием градиента и переобучением [10]. Эти свойства делают ResNet особенно эффективной для решения задач классификации изображений, обнаружения объектов и сегментации.

Остаточный блок работает следующим образом:

$$y = F(x) + x; , \quad (4)$$

где добавление исходного сигнала x к результату преобразования $F(x)$ позволяет сети учиться представлять небольшие изменения сигнала, а не полное отображение входа в выход. Остаточный блок включает в себя несколько свёрточных слоев, к которым добавляется прямое соединение, проходящее через весь блок. В остаточных блоках используются свёрточные слои с фильтрами 1×1 .

Благодаря остаточным связям ResNet может иметь сотни слоев, благодаря остаточным связям. В более глубоких сетях ResNet остаточный блок состоит из трех сверток: сначала для сокращения размерности 1×1 , затем для свертки 3×3 и вновь 1×1 для увеличения размерности.

ResNet обеспечивает высокую точность результатов, например, ResNet-152 достигает ошибки 3.57% [11].

ResNet нашла широкое применение в различных задачах компьютерного зрения: классификации изображений, детекции объектов, сегментации, анализе видео, распознавании действий и отслеживании объектов.

На рисунке 4 показана диаграмма сравнения точности работы CNN при решении задач распознавания изображений.

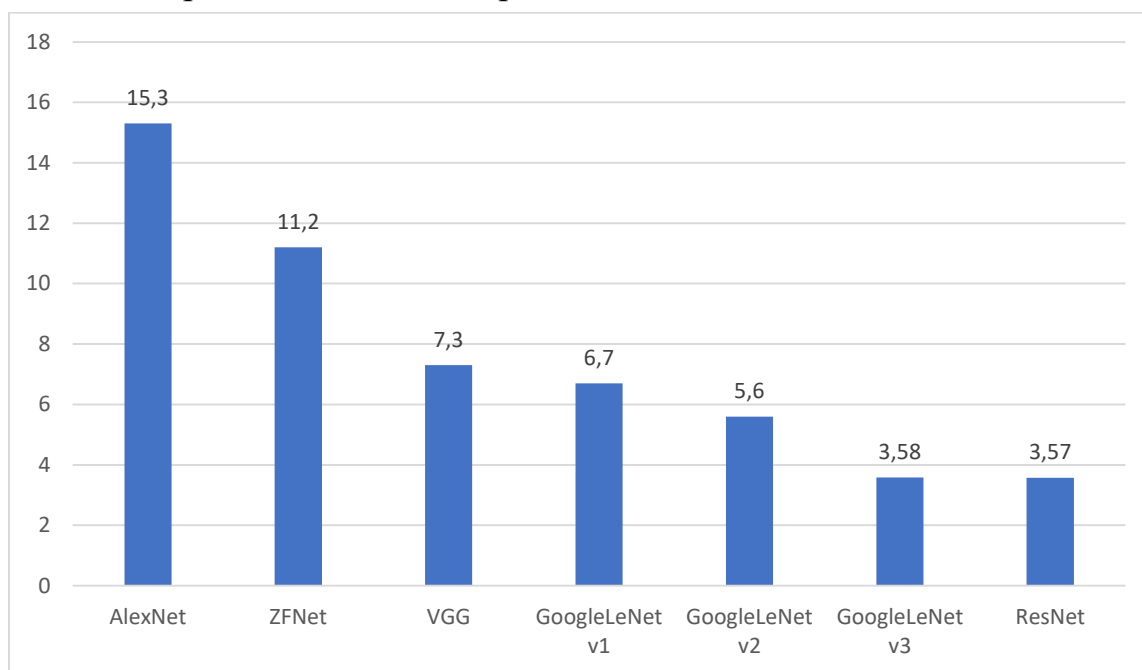


Рисунок 1 – Сравнение ошибок (%) CNN в задачах распознавания изображений

В результате проведенного сравнения лучший результат показывает модель с архитектурой ResNet – 3,57% ошибки. Однако, изучив параметры этой сети, можно сказать, что модель требует больше вычислительных ресурсов и подвержена проблемам переобучения, поэтому стоит учитывать особенности области применения.

Список литературы

1. Сикорский, О.С. Обзор сверточных нейронных сетей для задачи классификации изображений / О.С. Сикорский // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2017. – № 20. – С. 37-42.
2. Маршалко, Д.А. Архитектура сверточных нейронных сетей / Д.А. Маршалко, О.В. Кубанских // Ученые записки Брянского государственного университета. – 2019. - № 4. – С. 10-13.
3. Сверточная нейронная сеть, часть 1: структура, топология, функции активации и обучающее множество. – URL: <https://habr.com/ru/articles/348000/> (дата обращения: 12.03.2025).
4. Саймон, Х. Нейронные сети: полный курс / Х. Саймон. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2019. – 1104 с.

5. Макаров, М.А. Искусственный интеллект в промышленной информатике : учебное пособие / М.А. Макаров, И.Ю. Зайцев. – М. : МИРЭА – РТУ, 2024. – 118 с.

6. Zhou, L. Design and Implementation of AlexNet Flower Classification System from the Perspective of Deep Learning / L. Zhou // International Journal of Computer Science and Information Technology. – 2024. – Vol. 3(3). – Pp. 292-299.

7. Эволюция архитектур нейросетей в компьютерном зрении: классификация изображений. – URL: <https://habr.com/ru/companies/slsoft/articles/855602/> (дата обращения: 12.03.2025).

8. Face Images Classification using VGG-CNN / I.N.G.A. Astawa, M.L. Radhitya, I.W.R. Ardana, F.A. Dwiyanto // Knowledge Engineering and Data Science. – 2021. – Vol. 4(1). – Pp. 49-54.

9. Dong, H. Investigations on Convolutional Neural Network Based on Image Recognition / H. Dong // Highlights in Science, Engineering and Technology. – 2025. – Vol. 124. – Pp. 208-215.

10. Чжу, И. Исследование остаточной нейронной сети RESNET / И. Чжу, Т.П. Новикова, С.А. Евдокимова // Моделирование информационных систем и технологий : материалы Международной научно-практической конференции, Воронеж, 27 октября 2022 г. – Воронеж, 2022. – С. 343-349.

11. Deep Residual Learning for Image Recognition / K. He [et al.] // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2016. – Pp. 770-778.

References

1. Sikorsky, O.S. Overview of convolutional neural networks for image classification / O.S. Sikorsky // New information technologies in automated systems. – 2017. – No. 20. – Pp. 37-42.

2. Marshalko, D.A. Architecture of convolutional neural networks / D.A. Marshalko, O.V. Kubanskikh // Scientific Notes of Bryansk State University. – 2019. – No. 4. – Pp. 10-13.

3. Convolutional neural network, part 1: structure, topology, activation functions and training set. – URL: <https://habr.com/ru/articles/348000/> (date of access: 03/12/2025).

4. Simon, H. Neural networks: a complete course / H. Simon. – M. : Williams Publishing House, 2019. – 1104 p.

5. Makarov, M.A. Artificial intelligence in industrial computer science: a textbook / M.A. Makarov, I.Y. Zaitsev. – M. : MIREA – RTU, 2024. – 118 p .
6. Zhou, L. Design and Implementation of AlexNet Flower Classification System from the Perspective of Deep Learning / L. Zhou // International Journal of Computer Science and Information Technology. – 2024. – Vol. 3(3). – Pp. 292-299.
7. Evolution of neural network architectures in computer vision: classification of images. – URL: <https://habr.com/ru/companies/slsoft/articles/855602/> / (date of access: 12/03/2025).
8. Face Images Classification using VGG-CNN / I.N.G.A. Astawa, M.L. Radhitya, I.W.R. Ardana, F.A. Dwiyanto // Knowledge Engineering and Data Science. – 2021. – Vol. 4(1). – Pp. 49-54.
9. Dong, H. Investigations on Convolutional Neural Network Based on Image Recognition / H. Dong // Highlights in Science, Engineering and Technology. – 2025. – Vol. 124. – Pp. 208-215.
10. Zhu, I. Investigation of the residual neural network RESNET / I. Zhu, T.P. Novikova, S.A. Evdokimova // Modeling of information systems and technologies: proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Voronezh, October 27, 2022. – Voronezh, 2022. – Pp. 343-349.
11. Deep Residual Learning for Image Recognition / K. He [et al.] // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2016. – Pp. 770-778.

СЕКЦИЯ 2.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

DOI:10.58168/AIARMTOES2025_346-352

УДК 681.5

СТРУКТУРА И УПРАВЛЕНИЕ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РОБОТОВ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКЕ ОБЪЕКТОВ STRUCTURE AND CONTROL OF MANIPULATION SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL ROBOTS IN LASER CUTTING OF OBJECTS

Ещенко С.Е., студент

Мещерякова А.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет

имени Г.Ф. Морозова»,

г. Воронеж, Россия

Yeshchenko S.E., student

Meshcheryakova A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE « Voronezh State University of Forestry and Technologies named after

G.F. Morozov»,

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматривается структура и принципы управления манипуляционных систем, используемых в технологических роботах для выполнения лазерной резки. Особое внимание уделяется анализу конструктивных особенностей манипуляторов, их классификации, а также ключевым параметрам, влияющим на производительность и точность обработки материалов.

Summary: The article examines the structure and control principles of manipulation systems used in technological robots for laser cutting. Particular attention is paid to the analysis of the design features of manipulators, their classification, as well as key parameters affecting the productivity and accuracy of material processing.

Ключевые слова: лазерная резка, технологические роботы, манипуляционные системы, автоматизация, управление, промышленное производство, интеллектуальные технологии.

Keywords: laser cutting, technological robots, manipulation systems, automation, control, industrial production, intelligent technologies.

Современное промышленное производство активно использует роботизированные системы, которые обеспечивают не только высокую точность и скорость выполнения операций, но и значительное снижение затрат на производство [1, 2]. Одним из наиболее перспективных направлений автоматизации является использование технологических роботов в процессах лазерной резки. Этот метод обработки материалов отличается высокой производительностью, минимальными потерями сырья, а также возможностью работы с различными типами материалов, включая металлы, композиты, керамику и полимеры.

Лазерная резка является передовой технологией, которая широко применяется в таких сферах, как авиастроение, автомобилестроение, приборостроение, производство электроники и медицинских изделий. Высокая точность лазерного луча, а также его способность работать с тонкими и сложными деталями делает этот метод незаменимым в условиях современного производства. Однако эффективность лазерной резки во многом зависит от качества управления манипуляционной системой, которая обеспечивает точное перемещение и позиционирование лазерного инструмента в процессе обработки.

Манипуляционные системы технологических роботов играют ключевую роль в организации процессов лазерной резки. Они позволяют автоматизировать рабочие операции, повышая гибкость производства и уменьшая влияние человеческого фактора на конечный результат. Современные роботизированные комплексы оснащаются интеллектуальными системами управления, сенсорами обратной связи и алгоритмами адаптивного контроля, что позволяет им работать в режиме реального времени, автоматически корректируя параметры резки в зависимости от состояния материала и внешних условий.

Внедрение таких решений способствует повышению качества готовой продукции, сокращению времени на обработку и снижению производственных издержек. Поэтому исследование структуры манипуляционных систем и методов их управления представляет собой важную научную и практическую задачу.

Целью данной работы является изучение структуры и принципов управления манипуляционных систем технологических роботов, применяемых в лазерной резке, а также анализ современных тенденций в данной области. В ходе исследования рассматриваются конструктивные особенности манипуляторов, используемые методы управления, а также перспективы дальнейшего развития роботизированных комплексов для лазерной обработки материалов.

1. Структура манипуляционных систем

Манипуляционные системы представляют собой механизмы, выполняющие движения и позиционирование рабочего инструмента. Их структура зависит от следующих ключевых факторов:

В робототехнике кинематическая схема манипулятора определяет способ соединения его звеньев и характер движения. Различают три основные структуры: последовательную, параллельную и гибридную.

Последовательная структура (Серийные манипуляторы) - звенья манипулятора соединены последовательно друг с другом, образуя цепочку шарнирных или линейных соединений.

Преимущества данной структуры в высокой гибкости и широком рабочем диапазоне, простоте программирования траекторий.

Недостатки данной структуры в низкой жесткости при больших нагрузках и в накоплении ошибок от одного звена к другому. Используется в промышленных роботах, сварочных манипуляторах, сборочных линиях.

Параллельная структура (Платформенные роботы) - звенья соединены в виде замкнутых контуров, управляемых несколькими приводами одновременно. Они обладают высокой жесткостью и точностью, а также дают возможность работы с высокими нагрузками. Но у данной структуры ограниченная рабочая зона и высокая сложность в управлении и программировании. Используется в станках с ЧПУ, хирургической робототехнике, авиакосмической промышленности.

Гибридная структура - комбинирует элементы последовательных и параллельных схем, сочетая их преимущества. У данной схемы оптимальный баланс гибкости и жесткости и присутствует улучшенная точность при сохранении подвижности. Однако, она сложна в конструкции и управлении. Так же данная схема обладает более высокой стоимостью в производстве. Используется в автоматизированных сборочных системах, высокоточных манипуляторах и мобильных роботах.

Последовательные манипуляторы обеспечивают гибкость, параллельные – жесткость и точность, а гибридные совмещают их преимущества для сложных задач.

В робототехнике применяются три основных типа приводов: электрические, гидравлические и пневматические. Каждый из них обладает своими особенностями, преимуществами и областями применения.

Электрические приводы используют электродвигатели (серводвигатели, шаговые двигатели или асинхронные моторы) для приведения в движение механических частей робота. Управляются электронными контроллерами, обеспечивающими высокую точность и адаптивность. Данные приводы хороши тем, что они обладают высокой точностью и плавностью движений. Являются экономичными и энергоэффективными. Просты в управлении и дают возможность интегрировать с компьютерными системами. Чистота работы (нет утечек масла или воздуха). К сожалению, у данных приводов ограниченный крутящий момент (по сравнению с гидравлическими системами). Есть вероятность перегрева при высокой нагрузке. Ограниченная мощность для работы с тяжелыми грузами. Используются в промышленных манипуляторах, 3D-принтерах, медицинской робототехнике, а также в сервисных и мобильных роботах.

Гидравлические приводы работают за счет давления жидкости (обычно масла), которое передает энергию от насоса к исполнительным механизмам, создавая значительное усилие. Данные приводы обладают высокой мощностью и способностью поднимать тяжелые грузы. Надежны и устойчивы к перегрузкам. Хороши в управляемости при работе с большими нагрузками. Однако у них очень сложная система, появляется необходимость в насосах, трубопроводах и масле. Из-за этого могут возникнуть утечки масла, требующие технического обслуживания. Они менее точны в управлении по сравнению с электрическими приводами. Используются в роботах для тяжелых условий эксплуатации, строительной технике, гидравлических манипуляторах и авиационной промышленности.

Пневматические приводы используют сжатый воздух для перемещения исполнительных механизмов, таких как цилиндры или роторные моторы. Преимущества данных приводов заключаются в простоте конструкции и в её надежности, в высокой скорости работы, а также в малом весе и компактности. Из недостатков в данных приводах мы можем выделить ограниченную точность позиционирования. Необходимость в компрессоре и системе подготовки воздуха, а также в высокой шумности при работе. Используются в сборочных линиях, упаковочных роботах, автоматизированных производственных системах и медицинской технике.

Выбор типа привода зависит от конкретных задач. Электрические приводы подходят для точных и интеллектуальных операций, гидравлические – для работы с тяжелыми нагрузками, а пневматические – для быстрых и простых действий в автоматизированных процессах.

В робототехнике различают три основные системы координат манипуляторов: декартовую, цилиндрическую и сферическую. Каждая из них определяет способ перемещения исполнительного механизма и влияет на рабочее пространство робота.

Декартовая система координат (XYZ-координаты) - манипулятор двигается вдоль трех взаимно перпендикулярных осей (X, Y, Z), образуя прямоугольное рабочее пространство. Преимущество данной системы координат в том, что она обладает высокой точностью и простота в управлении, легко программировать траектории, а также в жесткости конструкции. Однако в данной системе есть и недостатки, к примеру в ограниченной маневренности, а также в больших габаритах и сложности интеграции в ограниченном пространстве. Используется в порталных роботах, 3D-принтерах, станках с ЧПУ, лазерных и плазменных установках.

Цилиндрическая система координат - манипулятор перемещается по оси Z (вверх-вниз), радиально от центра (R) и вокруг вертикальной оси (θ), образуя цилиндрическое рабочее пространство. Они имеют хороший доступ к объектам по дуговым траекториям, просты в конструкции, но у них ограниченная свобода движений по сравнению со сферическими системами и низкая жесткость конструкции при больших вылетах. Используется в складской автоматизации, паллетировании, сборочных линиях и лабораторных роботах.

Сферическая система координат - манипулятор двигается вокруг двух вращательных осей (θ , ϕ) и вдоль радиального вылета (R), создавая сферическое рабочее пространство.

Плюсы данной системы координат в большой маневренности и возможности работы в труднодоступных местах и компактны в конструкции. Минусами является сложность управления и программирования, а также необходимость точных приводов для плавных движений. Широко применяется в промышленных манипуляторах, сварочных роботах, сборочных процессах и медицинской робототехнике.

Выбор системы координат зависит от задач робота. Декартовые манипуляторы обеспечивают высокую точность, цилиндрические подходят для работы с радиальными движениями, а сферические обеспечивают максимальную гибкость и маневренность. Современные манипуляционные системы оснащены датчиками обратной связи, обеспечивающими точность движения.

2. Управление манипуляционными системами.

Процесс управления манипуляторами включает несколько ключевых этапов:

Сбор данных:

- Фиксация текущего положения, скорости и нагрузки на приводы.
- Использование сенсоров, энкодеров и систем обратной связи.
- Оценка окружающей среды для предотвращения столкновений.

Обработка информации:

- Планирование траекторий движения на основе входных данных.
- Коррекция маршрута в режиме реального времени.
- Применение алгоритмов адаптивного управления для оптимизации работы.

Исполнение команд:

- Приведение манипулятора в движение с учетом заданных параметров.
- Контроль точности выполнения операций, включая лазерную резку.
- Автоматическая корректировка в случае отклонений.

Использование адаптивных систем управления позволяет роботу самостоятельно изменять траекторию в зависимости от внешних условий, повышая точность и надежность выполнения задач. Для повышения точности используются адаптивные системы управления, позволяющие роботам самостоятельно корректировать траекторию движения.

3. Автоматизация и перспективы развития.

Развитие технологий направлено на создание интеллектуальных систем управления, включающих:

- Искусственный интеллект для оптимизации маршрутов резки.
- Компьютерное зрение для автоматического контроля качества.
- Интеграцию с облачными платформами для мониторинга работы оборудования.

Внедрение таких решений позволит повысить эффективность лазерной резки и минимизировать производственные затраты.

Таким образом, современные манипуляционные системы технологических роботов играют ключевую роль в автоматизации процессов лазерной резки, обеспечивая высокую точность, гибкость и надежность операций. Использование различных кинематических схем, типов приводов и систем координат позволяет адаптировать манипуляторы к специфическим производственным задачам. Современные методы управления, включая адаптивные алгоритмы и ис-

кусственный интеллект, значительно повышают эффективность работы роботов, минимизируя ошибки и сокращая затраты на производство. Дальнейшее развитие автоматизированных комплексов связано с внедрением интеллектуальных технологий, интеграцией с облачными сервисами и расширением возможностей машинного зрения. Эти инновации позволят создать более автономные и эффективные системы, способные адаптироваться к меняющимся условиям производства. Таким образом, совершенствование манипуляционных систем и их управления будет способствовать повышению качества лазерной обработки и развитию высокотехнологичных отраслей промышленности.

Список литературы

1. Мир робототехники. – URL: <https://roboticsworld.ru/news/top-5-trendov-robototekhniki-2025-goda/> (дата обращения: 27.03.2025).
2. Hi-News.ru. – URL: <https://hi-news.ru/technology/sozdan-robot-dlya-avtomaticheskoy-ochistki-snega-na-bolshix-territoriyah.html?ysclid=m8ww2gitvd548624465> (дата обращения: 27.03.2025).

References

1. The world of robotics. – URL: <https://roboticsworld.ru/news/top-5-trendov-robototekhniki-2025-goda/> (date of access: 27.03.2025).
2. Hi-News.ru. – URL: <https://hi-news.ru/technology/sozdan-robot-dlya-avtomaticheskoy-ochistki-snega-na-bolshix-territoriyah.html?ysclid=m8ww2gitvd548624465> (date of access: 27.03.2025).

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА
ДЛЯ ОКРАСКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
КОНСТРУКЦИЙ**

**DESIGNING A ROBOTIC COMPLEX
FOR PAINTING LARGE-SIZED METAL STRUCTURES**

Кодацкая А.С., студент

Грибанов А.А., к.т.н., доцент

Мещерякова А.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

vgltaapp@mail.ru

Kodatskaya A.S., Student

Gribanov A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

Meshcheryakova A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: Статья посвящена проектированию роботизированного комплекса для окраски крупногабаритных металлических конструкций с использованием промышленного робота KUKA KR6 900. Рассматриваются методы решения прямой и обратной кинематических задач на основе параметров Денавита-Хартенберга, а также алгоритмы оптимизации траекторий движения для минимизации расхода материалов и повышения качества покрытия.

Summary: The article is devoted to the design of a robotic complex for painting large-sized metal structures using the industrial robot KUKA KR6 900. The methods of solving forward and inverse kinematic problems based on Denavit-Hartenberg parameters, as well as algorithms for optimizing motion trajectories to minimize material consumption and improve coating quality are considered.

Ключевые слова: роботизированная окраска, крупногабаритные конструкции, параметры Денавита-Хартенберга, прямая и обратная кинематика, KUKA KR6 900.

Keywords: robotic painting, large structures, Denavit-Hartenberg parameters, forward and reverse kinematics, KUKA KR6 900.

Автоматизация технологических процессов с использованием роботизированных систем играет ключевую роль в повышении эффективности производства, снижении брака и улучшении условий труда. Одним из таких процессов является окраска сложных конструкций, требующая высокой точности и равномерности нанесения покрытия [1]. Промышленные роботы позволяют реализовать сложные траектории движения рабочего органа, обеспечивая оптимальное распределение лакокрасочного материала. Однако разработка и отладка управляющих программ для таких роботов требует предварительного моделирования и анализа траекторий. В связи с этим создание симулятора окраски детали, с возможностью расчёта траектории и визуализации движения рабочего органа, является актуальной задачей.

Реализация проекта позволит не только получить теоретические результаты по моделированию движения робота, но и создать инструмент для предварительного тестирования управляющих алгоритмов без необходимости использования реального производственного оборудования.

Известно, что лакокрасочные материалы наносят на поверхность изделий различными методами: пневматическим распылением, распылением под высоким давлением, распылением в электрическом поле, аэрозольным распылением, электроосаждением, струйным обливом, окунанием, наливом, вальками, в барабанах, кистью и шпателем, и самым передовым методом – порошковой покраской [2-3].

Недостатки традиционных методов окраски при обработке мостовых конструкций связаны с их ограниченной гибкостью и эффективностью, что особенно критично для сложных форм, больших размеров и требований к качеству покрытия. Например, безвоздушное распыление не позволяет регулировать ширину факела, что приводит к избыточному расходу материалов и непригодности для деталей нестандартной формы или малого размера. Кроме того, высокое давление во время работы ускоряет износ оборудования и требует значительных затрат на обслуживание, что делает метод экономически нецелесообразным для масштабных проектов.

В связи с этим следует отметить, что роботизированное окрашивание – это оптимальный выбор для мостовых конструкций. Роботы способны решить ключевые проблемы традиционных методов:

- Адаптивность к сложным формам – роботы регулируют расход, скорость и угол нанесения материала, обеспечивая равномерное покрытие даже на изогнутых или многосторонних деталях.

- Безопасность и экология – закрытые рабочие зоны роботов минимизируют загрязнение, а система вентиляции предотвращает риски возгорания или токсичных выделений.

- Возможность быстрой перенастройки под разные материалы, что важно при работе с деталями, где требуется многоцветная или индивидуальная окраска элементов.

- Автоматизированные системы справляются с большими объёмами без потери качества, исключая «человеческий фактор».

Таким образом, переход на роботизированное окрашивание позволяет преодолеть ограничения традиционных методов, обеспечивая безопасность, экономичность и высокое качество покрытия для мостовых конструкций, где надёжность и долговечность материалов имеют первостепенное значение.

Рассмотрим решение задач прямой и обратной кинематики для шестиосевого робота KUKAKR6 900, используемого при окрашивании мостовых конструкций. На основе параметров Денавита-Хартенберга выводятся матрицы преобразования для каждого сустава робота, а также анализируется алгоритм определения конфигурации суставов по заданному положению инструмента.

Для описания кинематической цепи манипулятора KUKAKR6 900 используются параметры Денавита-Хартенберга, приведенные в таблице 1 и рисунке 1.

Таблица 1 – Параметры DH для KUKAKR6 900

Сустав	θ_i	d_i , мм	a_i , мм	α_i , °
1	θ_1	100	0	-90
2	θ_2	0	610	0
3	θ_3	0	0	90
4	θ_4	515	0	-90
5	θ_5	0	0	90
6	θ_6	90	0	0

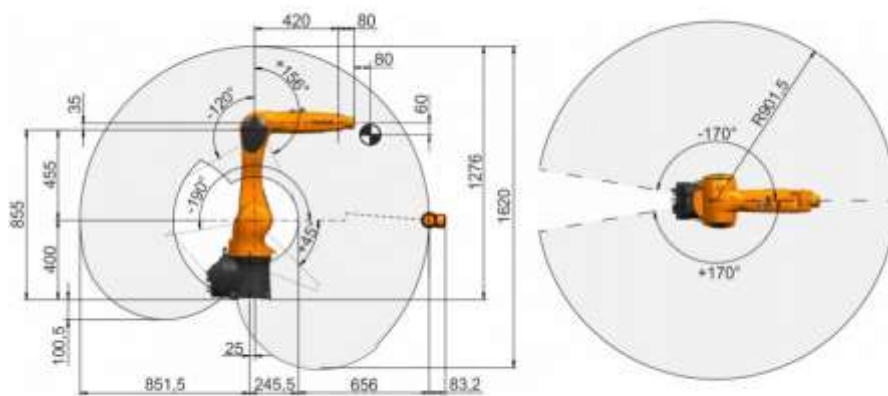


Рисунок 1 – Робот KUKA KR6 900

Каждому суставу соответствует система координат, связанная с предыдущим звеном через преобразование, задаваемое матрицей:

$$T_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cos\alpha_i & \sin\theta_i \sin\alpha_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \sin\alpha_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Матрицы преобразования для каждого сустава выводятся подстановкой параметров из таблицы 1 в общую формулу.

Результирующее положение инструмента определяется произведением матриц всех суставов:

$$T_0^6 = T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot T_4 \cdot T_5 \cdot T_6.$$

Координаты центра инструмента (x, y, z) и углы Эйлера извлекаются из элементов T_0^6 .

Решение обратной задачи кинематики разделяется на два этапа: позиционирование (суставы 1–3) и ориентация (суставы 4–6). Для позиционирования целевая точка запястья вычисляется с учетом смещения инструмента d_6 :

$$P_{\text{запястья}} = P_{\text{цель}} - d_6 \cdot \vec{z}_6,$$

где $\vec{z}_6$ – ось Z конечного эффектора (краскопульты). Углы $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ находятся через геометрические соотношения в плоскости XZ. Например, $\theta_1 = \arctan2(P_y, P_x)$, а θ_2 и θ_3 определяются по теореме косинусов для треугольника со сторонами a_2, a_3 , и проекцией $P_{\text{запястья}}$.

Для ориентации используется свойство сферического запястья, где матрица R_3^6 выражается через углы Эйлера ZYZ:

$$R_3^6 = \begin{bmatrix} c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6 & -c_4 c_5 s_6 - s_4 c_6 & c_4 s_5 \\ s_4 c_5 c_6 + c_4 s_6 & -s_4 c_5 s_6 + c_4 c_6 & s_4 s_5 \\ -s_5 c_6 & s_5 s_6 & c_5 \end{bmatrix},$$

где $c_i = \cos\theta_i$, $s_i = \sin\theta_i$. Углы θ_4 , θ_5 , θ_6 вычисляются через элементы матрицы R_3^6 .

При движении вдоль балки моста траектория задается последовательностью точек с нормальными к поверхности. Для каждой точки решается обратная кинематика. Выбирается конфигурация без коллизий, а углы суставов оптимизируются для минимизации перемещений. Например, при окрашивании вертикальной поверхности ориентация распылителя фиксируется перпендикулярно плоскости, что упрощает расчет θ_4 , θ_5 , θ_6 .

Таким образом, полный алгоритм расчёта траектории включает в себя поэтапное вычисление промежуточных положений по линейной интерполяции, затем для каждого такого положения – решение обратной задачи кинематики для определения необходимых углов суставов. Итоговая управляющая программа робота будет представлять собой последовательность временных отсчетов, в каждом из которых заданы углы $q_1(t), q_2(t), \dots, q_6(t)$ для обеспечения плавного и точного перемещения краскопульта по заданной траектории.

Список литературы

1. Дробина, Е. А. Интеллектуальная система управления роботизированным покрасочным комплексом / Е. А. Дробина // Инновационное развитие науки и образования : сборник статей IX Международной научно-практической конференции : в 2 ч., Пенза, 12 января 2020 года. Часть 1. – Пенза: «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. – С. 93-95.

2. Патент № 2104807 С1 Российская Федерация, МПК В05В 12/00, В05В 13/04, В05В 15/10. Установка робота для окрашивания объектов : № 96102587/25 : заявл. 19.07.1993 : опубл. 20.02.1998 / Т. Экенберг ; заявитель Эй-биби Тралфа Робот АС.

3. Патент № 2823697 С1 Российская Федерация, МПК В05В 12/14, В05В 16/00. Универсальная окрасочная установка : № 2022115009 : заявл. 10.12.2020 : опубл. 29.07.2024 / П. Бортолотто, В. Ильо ; заявитель ДЖЕЙКО СПА.

References

1. Drobina, E. A. Intellectual control system of robotized painting complex / E. A. Drobina // Innovation development of science and education : collection of articles of IX International Scientific and Practical Conference : in 2 parts, Penza, January 12, 2020. Volume Part 1. - Penza: «Science and Enlightenment» (IP Gulyaev G.Y.), 2020. - Pp. 93-95.

2. Patent No. 2104807 C1 Russian Federation, MPK B05B 12/00, B05B 13/04, B05B 15/10. Robot installation for coloring objects : No. 96102587/25 : applied. 19.07.1993 : publ. 20.02.1998 / T. Eckenberg ; applicant Abibi Tralfa Robot AS.

3. Patent No. 2823697 C1 Russian Federation, MPK B05B 12/14, B05B 16/00. Universal painting unit : No. 2022115009 : applied for. 10.12.2020 : publ. 29.07.2024 / P. Bortolotto, V. Iglío ; applicant JEICO SPA.

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ГИБРИДНОГО ТРАКТОРА COMPUTER MODEL OF A HYBRID TRACTOR

Пиляев В.С., студент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет

имени императора Петра I»

г. Воронеж, Россия

plaksher@gmail.ru

Pilyaev V.S., Student

FSBEI HE «Voronezh State Agrarian University

named after Emperor Peter the Great»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: Представлена компьютерная модель гибридного трактора, построенная в среде программного комплекса мультифизического моделирования SimInTech, и предназначенная для исследования динамических свойств трактора. Эта модель может быть принята за базовую для разработки гибридных тракторов сельскохозяйственного назначения, поскольку все основные компоненты гибридного трактора представлены в виде отдельных независимых подсистем, связь между которыми осуществляется информационными сигналами.

Summary: A computer model of a hybrid tractor is presented, built in the environment of the SimInTech multiphysical modeling software package, and designed to study the dynamic properties of a tractor. This model can be taken as the basic one for the development of hybrid tractors for agricultural purposes, since all the main components of a hybrid tractor are represented as separate independent subsystems, the communication between which is carried out by information signals.

Ключевые слова: компьютерная модель, гибридный трактор, электропривод, аккумуляторная батарея, двигатель внутреннего сгорания, режим работы.

Keywords: computer model, hybrid tractor, electric drive, battery, internal combustion engine, operating mode.

Несмотря на существенный прогресс в развитии гибридных и электрических мобильных сельскохозяйственных машин, задачи исследования и разработки сельскохозяйственных гибридных тракторов остаются актуальными. Конструктивные схемы гибридных тракторов весьма разнообразны, но могут быть классифицированы на две группы: последовательные и параллельные схемы [1, 2].

Последовательная схема построения гибридного трактора характеризуется тем, что двигатель внутреннего сгорания (ДВС) и двигатель электропривода как бы находятся на общем валу, что позволяет включать их порознь или одновременно, и в тоже время использовать тяговый электродвигатель в качестве генератора для подзарядки аккумуляторной батареи. Как было показано в работах [1, 3, 4] эффективным подходом к разработке гибридных тракторов является построение и исследование их компьютерных моделей с различными вариантами компоновки и алгоритмами управления.

Поскольку основными агрегатами гибридного трактора являются электропривод, дизельный двигатель, трансмиссия, ходовая часть и система управления, то его компьютерная модель должна быть комплексной, включающей в себя модели всех этих основных подсистем [5, 6]. С другой стороны, комплексная компьютерная модель должна иметь возможность к совершенствованию, усложнению, а самое главное – с минимальными затратами позволять заменять в ней модели подсистем электропривода, дизельного двигателя и системы управления для обеспечения возможности выбора различных конструктивных вариантов и алгоритмов управления.

На рисунке 1 представлен внешний вид такой компьютерной модели гибридного трактора, построенной в среде программного комплекса мультфизического моделирования SimInTech [3, 5, 7], и предназначенной для исследования динамических свойств трактора. Эта модель может быть принята за базовую, поскольку все основные компоненты гибридного трактора представлены в виде отдельных независимых подсистем, связь между которыми осуществляется информационными сигналами. Рассмотрим ее структуру более подробно.

Исходными данными для управления движением трактором являются сигналы от нажатия педалей акселератора и тормоза. Степень нажатия этих педалей (0...1) согласно конструктивных графических зависимостей преобразуется в соответствующие сигналы ускорения и торможения, тоже от 0 до 1.

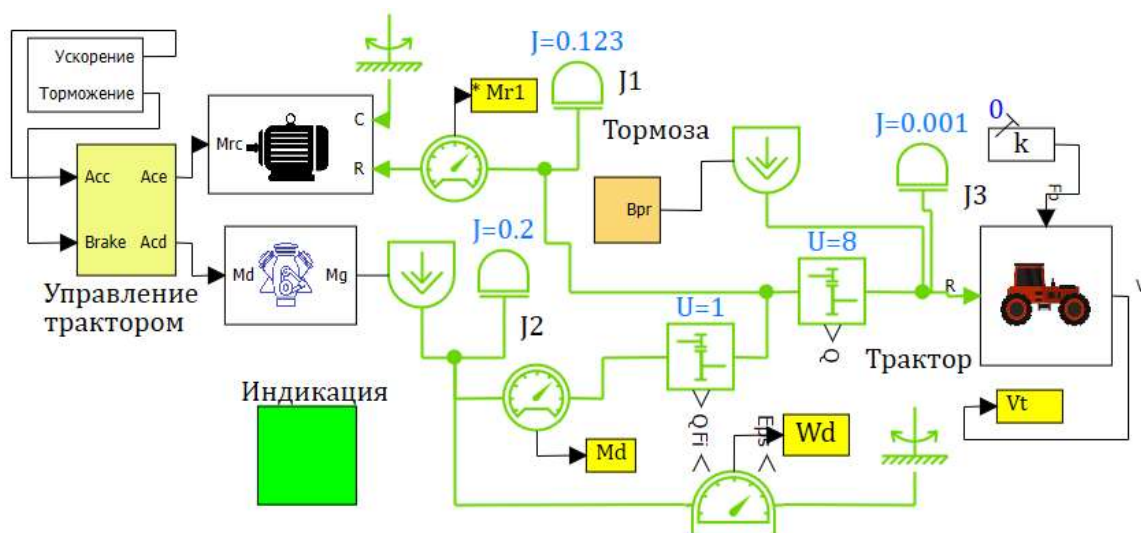


Рисунок 1 – Компьютерная модель гибридного трактора последовательной схемы включения электропривода и ДВС

Динамическая модель трактора (блок «Трактор») основана на классическом подходе [2, 5, 6, 8]. Здесь учитываются аэродинамическое сопротивление, гравитационная сила, вызванная уклоном пути, сопротивление со стороны навесного или прицепного оборудования и сопротивление качению. Последнее представляется согласно стандарту SAEJ2452 [2] как

$$F_k = P^\alpha F_n^\beta (a + bV + cV^2), \quad (1)$$

где P – давление в шине, Па; F_n – нормальная составляющая реакции колеса, Н; V – скорость движения трактора, м/с; α, β, a, b, c – постоянные коэффициенты.

Для вычисления выражения (1) используется блок «Трение качения» из библиотеки блоков SimInTech «Трансмиссия». Для первоначального упрощения рассматривается одно колесо, к которому приложен вес трактора. Также, для упрощения не рассматривается трение сцепления колеса с дорогой. В первом приближении трансмиссия трактора отображается двумя блоками «Простой редуктор» из библиотеки «Механика».

Поскольку рассматриваемая модель, прежде всего, предназначена для исследования динамических свойств трактора, то принятые допущения и упрощения не принципиальны для решения данной задачи. Для решения других задач эти блоки могут быть более уточнены и дополнены.

Для моделирования дизельного двигателя используется упрощенная модель в виде инерционного звена [6], основанная на его механической характеристике. Задающее воздействие для блока регулятора двигателя (рисунок 2, а) формируется как

$$M_{dr} = a_{cd} M_{dnom}, \quad (2)$$

где a_{cd} – сигнал педали акселератора; M_{dnom} – номинальный момент дизельного двигателя, Н·м.

В регуляторе, согласно механической характеристике двигателя (рисунок 2, б) и текущего значения частоты вращения его коленчатого вала, момент ограничивается, и с помощью пропорционально-интегрального регулятора подбирается нужный угол поворота плунжерной пары топливного насоса α_p , обеспечивающий заданную механическую характеристику.

В качестве электропривода в рассматриваемой модели выбран управляемый по частоте синхронный электродвигатель с возбуждением от постоянных магнитов мощностью 35 кВт [6]. Алгоритм управления – регулирование магнитного потока статора (FOS) [6].

Основной проблемой в обеспечении эффективности работы гибридного трактора является стратегия взаимодействия дизельного двигателя и электропривода. Здесь возможны самые различные алгоритмы [2, 3, 6]. В рассматриваемом варианте модели трактора принят вариант, предложенный в работе [3]. Согласно ему трогание трактора осуществляется только посредством электропривода. При большой нагрузке и требованиях повышенного ускорения трактора электропривод и дизельный двигатель работают совместно. Переключение двигателя электропривода в режим генератора для зарядки аккумуляторной батареи осуществляется при торможении трактора (режим рекуперации энергии).

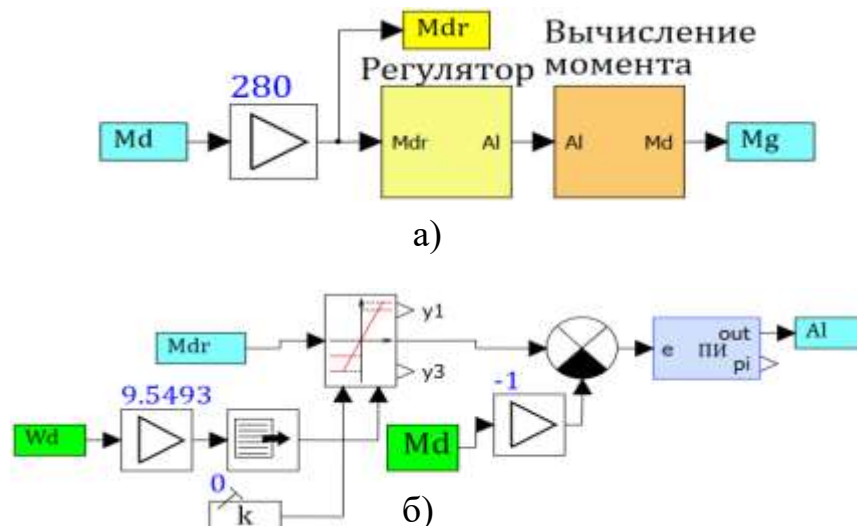


Рисунок 2 – Модель дизельного двигателя (а)
и содержание блока «Регулятор момента дизеля» (б)

Для автоматического переключения режимов можно использовать различные алгоритмы управления [2]. В данном случае рассматривается управление трактором с помощью алгоритма конечных автоматов, диаграмма состоя-

ний которого приведена в работе [3]. На рисунке 3 представлены результаты моделирования рабочего процесса гибридного трактора, которые показывают изменение режимов во времени и влияние на них сигналов ускорения и торможения.

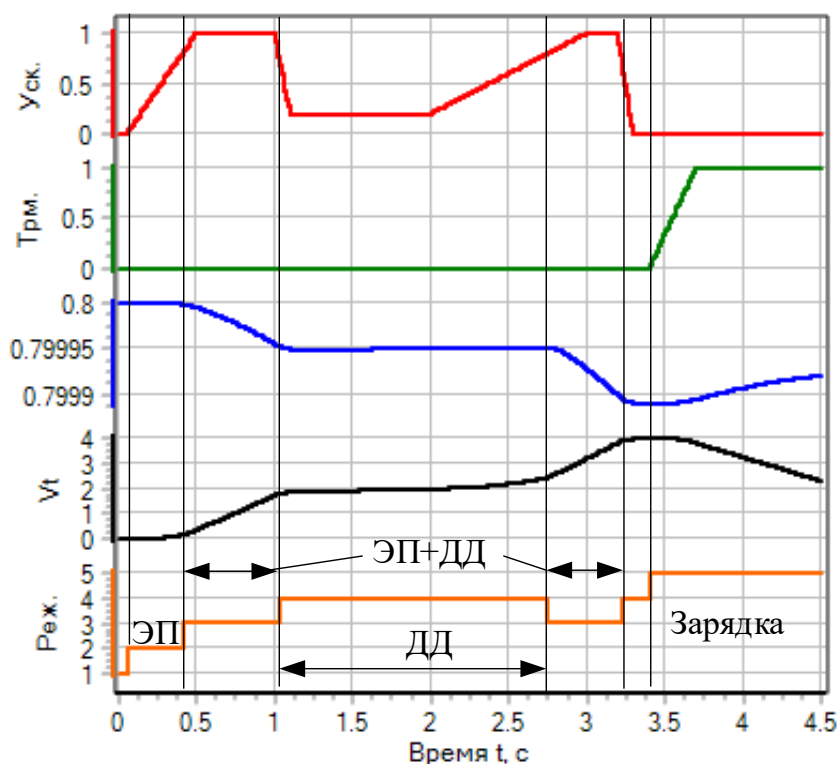


Рисунок 3 – Графики зависимостей сигналов ускорения и торможения, уровня заряда аккумуляторной батареи, скорости движения трактора (м/с) от времени и номер текущего режима работы: 1 – стоп; 2 – только электропривод; 3 – электропривод совместно с дизелем; 4 – только дизельный двигатель; 5 – режим рекуперации энергии

Предложенная компьютерная модель может быть использована как базовая для разработки гибридных тракторов сельскохозяйственного назначения.

Список литературы

1. Афоничев, Д.Н. Концепция разработки сельскохозяйственного гибридного колесного трактора / Д.Н. Афоничев, В.С. Пиляев, С.Н. Пиляев // Проблемы ресурсообеспеченности и перспективы развития агропромышленного комплекса: материалы международной научно-практической конференции; Россия, г. Воронеж, 25 сентября 2024 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2024. – С. 114–119.
2. Афоничев, Д.Н. Система управления гибридным колесным трактором / Д.Н. Афоничев, С.Н. Пиляев // Интеллектуальные системы в аграрном и строи-

тельном комплексе: сборник материалов международной научно-практической конференции. – Орел: ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2024. – Т. 2. – С. 189–195.

3. Пиляев, С.Н. Компьютерная модель электрического трактора в программе SimInTech / С.Н. Пиляев, В.С. Пиляев // Актуальные вопросы физико-математических и технических наук в свете современных исследований АПК: материалы национальной научно-практической конференции; 23 октября 2024 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2024. – С. 359–364.

4. Пиляев, С.Н. Комбинированный регулятор скорости вращения ротора электропривода электрического колесного трактора / С.Н. Пиляев, В.С. Пиляев // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения для АПК: материалы международной научно-практической конференции; Россия, г. Воронеж, 29 ноября 2024 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2024. – С. 277–282.

5. Пиляев, С.Н. SimInTech: автоматизированный электропривод на основе машин переменного тока / С.Н. Пиляев. – М.: ДМК Пресс, 2024. – 200 с.

6. Guzzella, L. Introduction to Modeling and Control of Internal Combustion Engine Systems / L. Guzzella, C.H. Onder. – Germany, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 362 p.

7. Афоничев, Д.Н. Компьютерные технологии в научных исследованиях / Д.Н. Афоничев, В.В. Васильев, М.Ю. Еремин. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2024. – 83 с. – URL: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b176235.pdf>.

8. Беляев, А.Н. Нагруженность ведущих колес трактора в составе комбинированного агрегата / А.Н. Беляев, Т.В. Тришина, Д.Н. Афоничев // Наука в Центральной России. – 2024. – № 3(69). – С. 85–91. –DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-85-91.

References

1. Afonichev, D.N. The concept of developing an agricultural hybrid wheeled tractor / D.N. Afonichev, V.S. Pilyaev, S.N. Pilyaev // Problems of resource availability and prospects for the development of the agro-industrial complex: proceedings of the international scientific and practical conference; Russia, Voronezh, September 25, 2024 – Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2024. – Pp. 114-119.

2. Afonichev, D.N. Control system of hybrid wheeled tractor / D.N. Afonichev, S.N. Pilyaev // Intelligent systems in the agricultural and construction complex: collection of materials of the international scientific and practical conference. – Orel: Oryol State Agrarian University, 2024. – Vol. 2. – Pp. 189-195.

3. Pilyaev, S.N. Computer model of an electric tractor in the SimInTech program / S.N. Pilyaev, V.S. Pilyaev // Actual issues of physical, mathematical and technical sciences in the light of modern agricultural research: proceedings of the national scientific and practical conference; October 23, 2024 – Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2024. - Pp. 359-364.
4. Pilyaev, S.N. Combined speed control of the rotor of the electric drive of an electric wheeled tractor / S.N. Pilyaev, V.S. Pilyaev// Science and education at the present stage of development: experience, problems and solutions for agriculture: materials of the international scientific and practical conference; Russia, Voronezh, November 29 2024. – Voronezh: Voronezh State Pedagogical University, 2024. - Pp. 277-282.
5. Pilyaev, S.N. SimInTech: automated electric drive based on alternating current machines / S.N. Pilyaev. – M.: DMK Press, 2024. – 200 p.
6. Guzzella, L. Introduction to Modeling and Control of Internal Combustion Engine Systems / L. Guzzella, C.H. Onder. – Germany, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 362 p.
7. Afonichev, D.N. Computer technologies in scientific research / D.N. Afonichev, V.V. Vasiliev, M.Yu. Eremin. – Voronezh: Voronezh State Pedagogical University, 2024. – 83 p. – URL: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b176235.pdf>.
8. Belyaev, A.N. Loading of tractor driving wheels as part of a combined unit / A.N. Belyaev, T.V. Trishina, D.N. Afonichev // Science in Central Russia. – 2024. – № 3(69). – Pp. 85-91. – DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-85-91.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ ОЧИСТКИ МЕТАЛЛА

Руднева М.С., магистрант

Грибанов А.А., к.т.н., доцент

Мещерякова А.А., к.т.н., доцент

**ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»**

г. Воронеж, Россия

vgltaapp@mail.ru

Rudneva M.S., Master's student

Gribanov A.A., PhD (Engineering), Associate professor

Meshcheryakova A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

**FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov"**

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: Статья посвящена исследованию и разработке автоматизированной системы лазерной очистки металла. На основе математической модели, описываемой уравнением теплопроводности с использованием метода конечных разностей, проведено моделирование температурного поля поверхности металла при воздействии лазерного излучения. Результаты моделирования демонстрируют распределение температуры по гауссовому закону и зависимость глубины абляции от длительности импульса. Экспериментальные испытания на образцах стали показали сокращение времени очистки на 30% по сравнению с ручным управлением и погрешность расчетов менее 5%.

Summary: The article is devoted to the research and development of an automated system of laser metal cleaning. Based on the mathematical model described by the heat conduction equation using the finite difference method, the temperature field of the metal surface under the influence of laser radiation has been simulated. The modeling results demonstrate the temperature distribution according to the Gaussian law and the dependence of the ablation depth on the pulse duration. Experimental

tests on steel samples showed a 30% reduction in ablation time compared to manual control and a calculation error of less than 5%.

Ключевые слова: лазерная очистка металла, автоматизация процесса, уравнение теплопроводности, метод конечных разностей, температурное поле.

Keywords: laser metal cleaning, process automation, heat conduction equation, finite difference method, temperature field.

Лазерная очистка металла, безусловно, представляет собой перспективный метод, позволяющий удалять загрязнения, оксидные слои и покрытия с поверхности без применения химических реагентов или механического воздействия [1-4]. Однако, как показывает практика, ручное управление такими системами часто оказывается недостаточно производительным и точным в условиях промышленного применения. В связи с этим, возникает необходимость разработки автоматизированной системы, способной оптимизировать процесс лазерной очистки. Настоящая работа, в частности, посвящена исследованию и созданию такой системы с учетом математического моделирования для анализа и визуализации результатов.

По сути, процесс лазерной очистки основан на взаимодействии лазерного излучения с поверхностью металла. При этом, как известно, при поглощении энергии лазера поверхностные загрязнения испаряются или разрушаются за счет теплового воздействия и абляции. Очевидно, что эффективность очистки зависит от параметров лазера, таких как мощность, длина волны, длительность импульса, а также от свойств материала, включая коэффициент поглощения и теплопроводность. Таким образом, для автоматизации процесса требуется учитывать динамику этих параметров и их влияние на результат очистки.

Для описания процесса лазерной очистки нами разработана математическая модель, основанная на уравнении теплопроводности. Температурное поле на поверхности металла в момент воздействия лазера можно выразить через уравнение:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T + \frac{Q}{\rho c},$$

где T – температура, t – время, $\alpha = \frac{k}{\rho c}$ – коэффициент температуропроводности, k – теплопроводность материала, ρ – плотность, c – удельная теплоемкость, Q – тепловой поток от лазера.

При этом тепловой поток Q определяется интенсивностью лазерного излучения $I(x, y, t)$, которая в случае гауссова профиля луча записывается как:

$$I(x, y, t) = I_0 \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right),$$

где I_0 – максимальная интенсивность, σ – радиус пятна лазера.

Учитывая, что часть энергии отражается от поверхности, вводится коэффициент поглощения A . Эффективный тепловой поток, соответственно, принимает вид $Q = A \cdot I(x, y, t)$.

Для численного решения уравнения теплопроводности применен метод конечных разностей. Граничные условия задаются с учетом теплоотвода в окружающую среду, а начальная температура, принимается равной температуре окружающей среды. Модель, таким образом, позволяет прогнозировать распределение температуры на поверхности металла и определять порог абляции, при котором загрязнения начинают испаряться.

На основе математической модели создана система автоматики, включающая лазер, управляемый модуль позиционирования и датчики обратной связи. Лазерный источник необходим для генерирования импульсов с регулируемой мощностью и частотой. Это позволяет адаптировать процесс под различные типы загрязнений и металлов. Модуль позиционирования, управляемый шаговыми двигателями, в свою очередь, обеспечивает точное перемещение лазерного луча по заданной траектории. Датчики температуры и оптические сенсоры отслеживают состояние поверхности в реальном времени, передавая данные в программу управления процессом очистки.

Алгоритм управления, по сути, построен на принципе обратной связи. На каждом этапе очистки измеряется температура поверхности и интенсивность отраженного излучения. Сравнение этих данных с результатами математической модели позволяет корректировать параметры лазера, такие как мощность и скорость сканирования, для достижения оптимального результата очистки. Программное обеспечение системы реализовано с использованием языка Python.

Для оценки эффективности разработанной системы проведено моделирование температурного поля и построены соответствующие графики. На основе численного решения уравнения теплопроводности, в частности, получено двумерное распределение температуры на поверхности металла в момент воздействия лазера (рисунок 1). График показывает, что максимальная температура достигается в центре пятна лазера и убывает по гауссовому закону в радиаль-

ном направлении. При превышении порога абляции (например, 1500 К для удаления оксидного слоя), как подтверждают данные, загрязнения эффективно испаряются, что согласуется с экспериментальными результатами.

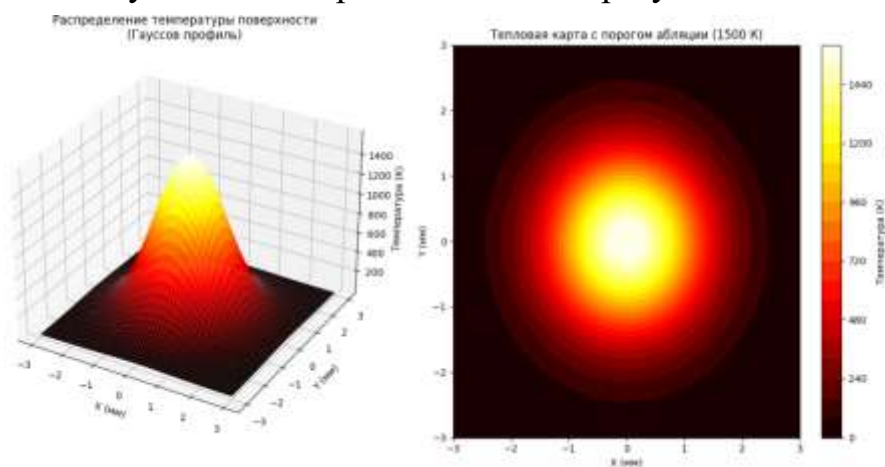


Рисунок 1 – Распределение температуры на поверхности металла

Дополнительно, построена зависимость глубины очистки от длительности импульса (рисунок 2). Анализ, в свою очередь, показывает, что при увеличении длительности импульса от 10 нс до 100 нс глубина абляции возрастает нелинейно, достигая насыщения из-за теплового рассеяния. Эти графики интегрированы в интерфейс системы автоматизации, что позволяет оператору визуально контролировать процесс и вносить корректировки в реальном времени.

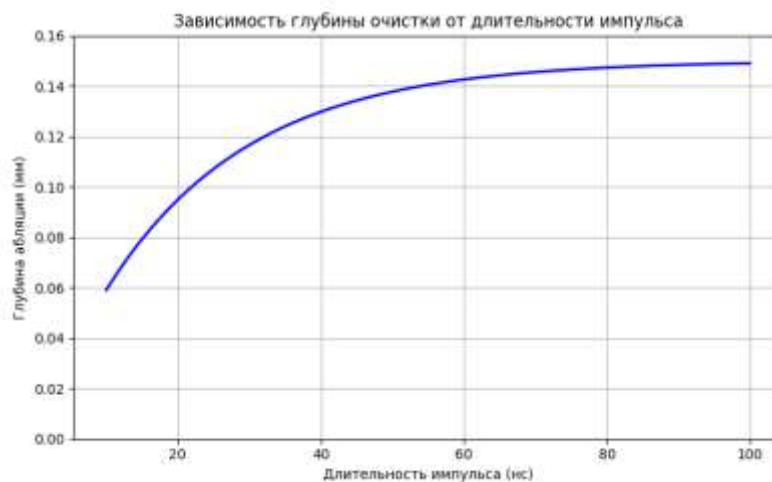


Рисунок 2 – Зависимость глубины очистки от длительности импульса

Разработанная система протестирована на образцах стали с различными типами загрязнений, включая ржавчину и масляные пятна. Результаты, как оказалось, показали, что автоматизированный подход сокращает время очистки на 30 % по сравнению с ручным управлением и обеспечивает равномерность обработки поверхности. Сравнение экспериментальных данных с расчетами по модели выявило совпадение с погрешностью менее 5%, что подтверждает адекватность математического описания.

Проведенное исследование, безусловно, демонстрирует возможность создания эффективной системы автоматизации лазерной очистки металла на основе математического моделирования и современных технологий компьютерного управления. Разработанная модель теплового воздействия, в свою очередь, позволяет прогнозировать поведение системы, а графический анализ, как показывает практика, упрощает интерпретацию результатов. В дальнейшем планируется расширение функционала системы за счет внедрения машинного обучения для адаптации к сложным поверхностям и повышения точности очистки.

Список литературы

1. Ефимов, С.А. Исследование возможности применения лазерной очистки металлов от ржавчины и краски в ремонтном производстве / С.А. Ефимов, А.М. Новиков // Студенческая наука - первый шаг в академическую науку : материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции с участием школьников 10-11 классов, Чебоксары, 22–23 марта 2017 года. – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2017. – С. 382-384.
2. Данилов, А.В. Лазерная очистка металлических поверхностей от загрязнений / А.В. Данилов // Студенческая наука - первый шаг в академическую науку : Материалы Международной студенческой научно-практической конференции с участием школьников 10-11 классов. В 4-х частях, Чебоксары, 12–13 марта 2024 года. – Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2024. – С. 581-587.
3. Аввакумов, И. И. Лазерная абляция металла от ржавчины / И. И. Аввакумов // Качество в производственных и социально-экономических системах : сборник научных статей 10-й Международной научно-технической конференции, Курск, 15 апреля 2022 года / Юго-Западный государственный университет. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 36-40.
4. Применение и преимущества технологии лазерной очистки металла в сравнение с традиционной пескоструйной обработкой / И. Н. Галеня, М. С. Кожухова, В. С. Вишневецкий [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2024. – № 2. – С. 116-120.

References

1. Efimov, S.A. Investigation of the possibility of using laser cleaning of metals from rust and paint in repair production / S.A. Efimov, A.M. Novikov // Student science - the first step into academic science : proceedings of the All-Russian student scientific-practical conference with the participation of schoolchildren of 10-11 classes, Cheboksary, March 22-23, 2017. - Cheboksary: Chuvash State Agricultural Academy, 2017. - Pp. 382-384.
2. Danilov, A.V. Laser cleaning of metal surfaces from contaminants / A.V. Danilov // Student science - the first step into academic science : Proceedings of the International Student Scientific and Practical Conference with the participation of schoolchildren of 10-11 classes. In 4 parts, Cheboksary, March 12-13, 2024. – Cheboksary: Chuvash State Agrarian University, 2024. - Pp. 581-587.
3. Avvakumov, I.I. Laser ablation of metal from rust / I.I. Avvakumov // Quality in production and socio-economic systems : collection of scientific articles of the 10th International Scientific and Technical Conference, Kursk, April 15, 2022 / South-West State University. – Kursk: South-West State University, 2022. –Pp. 36-40.
4. Application and advantages of laser metal cleaning technology in comparison with traditional sandblasting / I.N. Galenya, M.S. Kozhukhova, V.S. Vishnevskiy [et al.] // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. - 2024. - № 2. - Pp. 116-120.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ БЛОК ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ UNIVERSAL MOTOR PROTECTION UNIT

Рябова Д. В., студент

Мазуха Н. А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет

имени Императора Петра I»

г. Воронеж, Россия

e-mail: nat052005@yandex.ru

Ryabova D. V., student

Mazukha N. A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I,

Voronezh, Russia

e-mail: nat052005@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается универсальный блок защиты электродвигателей УБЗ-301.

Summary. The universal motor protection unit UBZ-301 is considered in the article.

Ключевые слова: электродвигатель, защита, перегрузка, регулирование, напряжение, ток, изоляция, утечка.

Keywords: electric motor, protection, overload, regulation, voltage, current, insulation, leakage.

Асинхронные двигатели широко используются в различных технологических процессах сельхозпроизводства, во время работы могут произойти различные аварийные ситуации (перегрузка, короткое замыкание, снижение или исчезновение напряжения, заклинивание, примерзание, обрыв фазы и т.д.), поэтому важно предусмотреть и правильно выбрать пускозащитную аппаратуру, чтобы избежать дорогостоящего простоя и ремонта оборудования.

В настоящее время для защиты двигателей выпускается большое количество многофункциональных реле различных фирм отечественных и зарубежных производителей.

Универсальный блок защиты электродвигателей УБЗ-301 фирмы Новатек-Электро (Россия) обеспечивает постоянный контроль напряжения сети, а также рабочих значений фазных и линейных токов трехфазного оборудования 380 В.

В первую очередь УБЗ-301 используется для защиты асинхронных электродвигателей мощностью от 2,5 до 315 кВт, в том числе в сетях с изолированной нейтралью. Кроме того, оно контролирует сопротивление изоляции обмоток статора (возможна блокировка пуска при плохой изоляции).

Устройство представляет собой микропроцессорный блок управления, позволяющий проводить измерения и регулировать параметры тока с большой точностью, осуществляет независимый контроль по фазным токам и напряжению сети, может определить тип аварийной ситуации для выбора и построения правильного алгоритма одного из вариантов защиты.

При исчезновении напряжения сети и его повторном появлении после восстановления номинальных значений блок защиты УБЗ-301 осуществляет автоматическое повторное включение нагрузки.

При симметричном и несимметричном снижении напряжения (перекосе фаз), при наличии токов утечки, например, при пробое изоляции, блок защиты УБЗ-301 не просто отключает двигатель, но и блокирует возможность повторного пуска.

Устройство имеет характерные особенности, дающие ему преимущества перед другими устройствами.

Задание параметров и уставок срабатывания выполняется с помощью потенциометров, находящихся на лицевой панели прибора.

В устройстве можно настроить срабатывание (например, отключение двигателя) при токовой перегрузке с выдержкой времени, учесть нагрев электродвигателя при запуске и выставить ограничение по количеству срабатываний за определенный период времени.

В устройстве можно выставить время АПВ, можно вручную настроить параметры срабатывания по минимальному или максимальному напряжению, перекосу напряжений и симметричному снижению напряжения.

По протоколу RS-485 устройство позволяет осуществлять обмен и передачу информации с помощью блока обмена БО-01.

На рисунке 1 представлена схема подключения питания устройства. В схеме приняты такие буквенные обозначения:

- L1, L2, L3 – фазы питающей сети;

- N – нулевой провод;
- ДТТ – датчик дифференциального тока (дифференциальный трансформатор тока);
- ТТ1, ТТ2 – датчики тока;
- БО-01 – блок обмена и передачи информации.

В блок защиты УБЗ-301 входят 3 тороидальных датчика тока (ТТ1, ТТ2 – датчики фазного и линейного тока; ДТТ – дифференциальный датчик тока с увеличенным диаметром).

С помощью клемм 6-9 блока защиты УБЗ-301 осуществляется подключение питающей сети к устройству, клемма 5 ведет контроль за уровнем изоляции (регистрируются токи утечки). Размыкающий контакт 1-2 и размыкающий 3-4 блока защиты включаются в цепь питания катушки магнитного пускателя (контактора) и переключаются при получении сигнала от блока управления, снимается напряжение с катушки пускателя, силовыми контактами которого отключается двигатель.

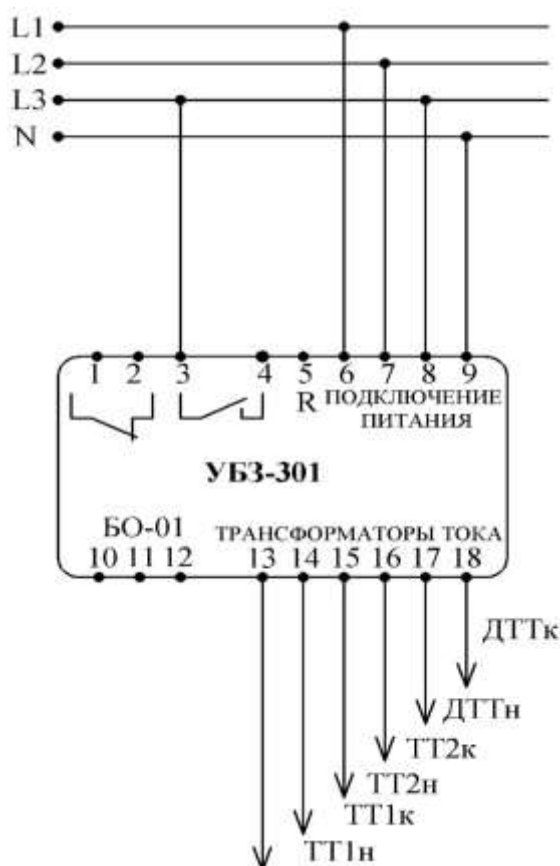


Рисунок 1 – Схема подключения питания устройства

Стандартная конфигурация устройства, ориентированная на конкретное применение, сокращает время настройки и ввода в эксплуатацию.

В целом устройство имеет 15 уровней защиты и срабатывает при следующих аварийных ситуациях [1-9]:

- скачках напряжения,
- симметричном снижении напряжения,
- несимметричном снижении напряжения (перекосе фаз),
- обрыве фаз,
- неправильном порядке следования фаз,
- исчезновении момента на валу ЭД («сухой ход» — для насосов), (защита по минимальному пусковому и рабочему току),
- низком уровне изоляции,
- замыкании на «землю» одной из обмоток статора на ходу.

Устройство хорошо зарекомендовало себя в качестве защиты трехфазных асинхронных двигателей от различных аварийных ситуаций для насосов, вентиляторов, компрессоров, мельниц и дробилок.

Список литературы

1. Афоничев, Д.Н. Информационные системы в электроэнергетике / Д.Н. Афоничев, С.Н.Пиляев. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – 233 с.
2. Алексеев, К.Б. Микроконтроллерное управление электроприводом / К.Б. Алексеев, К.А. Палагута. - М.: МГИУ, 2008. - 298 с.
3. Мазуха, Н.А. Улучшение защиты электродвигателей кормораздатчиков/ Н.А. Мазуха// Комбикорма. - 2018. - №2 - С. 26 - 28.
4. Мазуха Н.А. Схема для сохранения работоспособности двигателя при обрыве фазы питающей сети / Н.А. Мазуха, А.П. Мазуха // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2017. - № 7. - С. 39-42.
5. Мазуха Н.А. Схемы защиты электроприводов / Н.А. Мазуха// Сельский механизатор. – 2012. – №12. - С. 26-27.
6. Оськин С.В. Автоматизированный электропривод / С.В. Оськин, С.М. Моргун, Н.И. Богатырев. – Краснодар: Издательство ОАО «Кубанское полиграфическое издание». – 2014. – 212 с.
7. Москаленко, В.В. Системы автоматизированного управления электропривода / В.В. Москаленко. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. - 208 с.
8. Универсальный блок защиты электродвигателей УБЗ-301(5 – 50 А). Новатек-Электро. – URL: <https://novatek-electro.ru/downloads/%d0%a3%d0%91%d0%97-301%205-50%d0%90.pdf> (дата обращения: 20.03.2025).

9. Шабанов, В.А. Обеспечение бесперебойной работы частотно-регулируемых электроприводов магистральных насосов и технологического режима перекачки при кратковременных нарушениях электроснабжения / В.А. Шабанов, В.Ю. Алексеев, З.Х. Павлова. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2012. - 172 с.

References

1. Afonichev, D.N. Information systems in the electric power industry / D.N. Afonichev, S.N. Pilyaev. Voronezh: Voronezh State Pedagogical University, 2017. 233 p.
2. Alekseev, K.B. Microcontroller control of an electric drive / K.B. Alekseev, K.A. Palaguta. Moscow: MGIU, 2008. - 298 p.
3. Mazukha, N.A. Improving the protection of electric motors of feed dispensers/ N.A. Mazukha// Compound feed. - 2018. - No. 2. – Pp. 26-28.
4. Mazukha N.A. Scheme for maintaining engine performance in case of phase failure of the supply network / N.A. Mazukha, A.P. Mazukha // Repair, restoration, modernization. - 2017. - No. 7. - Pp. 39-42.
5. Mazukha N.A. Protection schemes for electric drives / N.A. Mazukha// Rural mechanizer. – 2012. – №12. - Pp. 26-27.
6. Oskin S.V. Automated electric drive / S.V. Oskin, S.M. Morgun, N.I. Bogatyrev. – Krasnodar: Publishing house of JSC "Kuban polygraphic edition". - 2014. – 212 p.
7. Moskalenko, V.V. Automated control systems of electric drive / V.V. Moskalenko. – Vologda: Infra-Engineering, 2016.– 208 p.
8. Universal motor protection unit UBZ-301 (5 – 50A). Novatek-Electro. – URL: <https://novatek-electro.ru/downloads/%d0%a3%d0%91%d0%97-301%205-50%d0%90.pdf> (date of reference: 03/20/2025).
9. Shabanov, V.A. Ensuring uninterrupted operation of frequency-controlled electric drives of main pumps and technological pumping mode in case of short-term power supply disruptions / V.A. Shabanov, V.Y. Alekseev, Z.H. Pavlova. – Vologda: Infra-Engineering, 2012. – 172 p.

Научное издание

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ,
РОБОТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ,
ОРГАНИЗАЦИОННЫХ, ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Материалы Всероссийской научно-практической конференции преподавателей
и специалистов
и Всероссийской научно-практической конференции студентов
и молодых ученых

Воронеж, 27 марта и 8 апреля 2025 г.

Ответственный редактор С.А. Евдокимова

Материалы издаются в авторской редакции

Подписано к изданию 16.06.2025. Объем данных 12,8 Мб
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»
394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8