

СОДЕРЖАНИЕ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Анцыферов С.С., Фазилова К.Н., Муравьев Д.С.

Системы мониторинга и прогнозирования состояний технологических процессов и оборудования интеллектуального наукоемкого производства 3

Карусевич А.С., Серебряков И.Е., Митрушкин Е.И.

Направления совершенствования и развития автоматизированных систем 7

Морозов А.Б., Безгодов А.А.

Архитектура киберфизической системы удаленного управления складской логистикой гетерогенных активов на основе мультисенсорной фузии данных 13

Дзедик В.А., Федорчук М.Ф.

Параметрическая модель управления рисками трансфера технологий 19

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Поезжаева Е.В., Михайловская Е.С.,

Аверкина А.Е., Тряцын Е.С., Кучев Н.Н.

Децентрализованное управление промышленными роботами на основе псевдоразвязанных уравнений движения 23

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Головина Е.Ю., Якубова А.А., Одинокоев С.А.,

Пашков А.Е.

Системный анализ рисков сырьевой базы как фактор обеспечения качества продукции высокотехнологичных камнеобрабатывающих предприятий 28

ИЗМЕРЕНИЯ, ИСПЫТАНИЯ

Алексенцева С.Е.

Испытания средств защиты на определение класса защиты при комбинированном воздействии взрывом с последующим применением электроинструментов, ручных ударных и термических инструментов 34

Переселкова А.Н., Макарова Л.В.

К вопросу обеспечения метрологических характеристик средств измерения 39

СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Федорчук М.Ф.

Соответствие параметрической модели управления рисками трансфера технологий требованиям IATF 16949:2016 и ГОСТ Р ИСО 31000 45

Учредители:

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации,
Межрегиональная общественная организация
«Академия проблем качества»

КАЧЕСТВО И ЖИЗНЬ

Научно-производственный
культурно-образовательный журнал

2026 № 1(49)

Свидетельство о регистрации в Роскомнадзоре
ПИ № 77-16571 от 13.10.2003
ISSN 2312-5209
Подписной индекс Пресса России – 43453

Редакционная коллегия:

Б.В. Бойцов (главный редактор), д.т.н., проф.,
засл. деятель науки РФ;

К.В. Леонидов; М.Ю. Куприков, д.т.н., проф.;

А.И. Ресинец, канд. воен. наук, доцент;

Е.П. Плавельский, д.т.н., проф.;

А.Е. Плавельский, к.т.н.;

Г.Н. Иванова, к.э.н., доцент;

И.А. Сосунова, д.социол.н., проф.;

Ю.И. Денискин, д.т.н., проф.;

М.М. Копкина (отв. секретарь),

Издатель – Межрегиональная общественная
организация «Академия проблем качества
им. В.В. Бойцова»
117393, Москва, ул. Профсоюзная, д. 78, стр. 1
Тел./факс: (499) 236-1536, www.academquality.ru

Редакционный совет:

Г.И. Элькин (председатель), д.э.н.; **А.П. Шалаев;**

В.Н. Азаров, д.т.н., проф.;

В.Ф. Безъязычный, д.т.н., проф.;

В.Я. Белобрагин, д.э.н., проф.;

А.Б. Бельский, д.т.н., проф., доцент;

Б.В. Бойцов, д.т.н., проф.;

И.Н. Бокарев, д.мед.н., проф.;

В.А. Васильев, д.т.н., проф.;

С.А. Васин, д.т.н., проф.;

Г.П. Воронин, д.э.н., проф.;

А.В. Евсеев, д.т.н., доцент;

С.Г. Емельянов, д.т.н., проф.;

Ю.В. Илюхин, д.т.н., проф.;

Л.К. Исаев, д.т.н., проф.;

И.А. Коровкин, к.э.н.;

Ю.В. Крянев, д.филос.н., проф.;

В.И. Кулайкин, к.п.н.;

В.В. Окрепилов, д.э.н., проф., акад. РАН;

М.А. Погосян, д.т.н., проф., доцент, акад. РАН;

М.Л. Рахманов, д.т.н., проф., доцент;

А.К. Скворчевский, д.т.н., проф.;

Н.Б. Топоров, д.т.н., проф.;

Б.А. Якимович, д.т.н., проф.

Ответственный

за выпуск: М.М. Копкина

Редактор и корректор:

Е.В. Масибута

Дизайн и компьютерная верстка: Ж.И.

Егорова

Работа с авторами

и подписчиками:

Н.С. Боцманова,

В.Ю. Ивашкова

Е.А. Солнцева

Тел/факс: (499) 236-35-84,

e-mail: ql-mail@mail.ru

Подписано в печать 20.03.2026

Бумага мелованная. Заказ №

Формат 60×90/8

Гарнитура YanusC, Minion Pro

Печать офсетная

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии

ООО «Полиформат», Москва

Мнение авторов статей может
не совпадать с мнением редакции.

Перепечатка материалов,

а также полное или частичное
воспроизведение

их в электронном виде

возможны только с письменного
разрешения издателя.

Ссылка на журнал обязательна.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Бойцов Б.В., Ресинец А.И., Ресинец А.А., Суворов Г.А.

Разработка основных требований к вертолетам-носителям
беспилотных летательных аппаратов при патрулировании
лесных массивов с использованием тепловизоров..... 50

**Бойцов Б.В., Ресинец А.И., Ресинец А.А.,
Тилинин М. И., Данилов Е.С.**

Сравнительный анализ характеристик цельнометаллического
и металлокомпозитного фюзеляжей перспективного
легкого вертолета 57

РОБОТОТЕХНИКА

**Поезжаева Е.В., Михайловская Е.С.,
Аверкина А.Е., Трясцын Е.С.**

Разрешающая способность и чувствительность робото-
технических систем манипуляционного типа 67

БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО

**Третьяк Л.Н., Вольнов А.С.,
Косых Д.А., Явкина Д.И.**

Разработка предложений по выбору и внедрению
инструментов бережливого производства
для промышленных предприятий 71

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Цветкова О.С., Левенцов В.А., Богданов Д.В.

Методика повышения эффективности инжиниринговых
услуг за счет компетентностного показателя
грейдинга..... 81

ЦИФРОВИЗАЦИЯ

Царегородцев Е.Л., Привольнев Н.А.

Применение цифровых методов наблюдения
за процессом сепарации семян в машиностроительном
оборудовании..... 88

К ЮБИЛЕЮ

Бойцов Б.В., Плавельский Е.П., Агарков А.М.

Отделению подъемно-транспортных, строительных,
дорожных, горных машин и спецавтотранспортных
средств МОО «Академия проблем качества
имени В.В. Бойцова» – 30 лет 93



УДК 681.518.9; 621.384.3

Системы мониторинга и прогнозирования состояний технологических процессов и оборудования интеллектуального наукоемкого производства

С.С. Анцыферов,

д-р техн. наук, профессор кафедры метрологии и стандартизации, Институт перспективных технологий и промышленного программирования МИРЭА – Российский технологический университет; Москва

К.Н. Фазилова,

канд. техн. наук, доцент кафедры метрологии и стандартизации, Институт перспективных технологий и промышленного программирования МИРЭА – Российский технологический университет; Москва

Д.С. Муравьев,

ассистент кафедры метрологии и стандартизации, Институт перспективных технологий и промышленного программирования МИРЭА – Российский технологический университет; Москва

Аннотация. В статье предложены системы мониторинга и прогнозирования состояний технологических процессов и оборудования интеллектуального наукоемкого производства. Практическая апробация предлагаемых систем указывает на возможность их применения для мониторинга и прогнозирования состояний широкого класса технологических процессов и технологического оборудования интеллектуального наукоемкого производства.

Ключевые слова: система, мониторинг, прогнозирование, технологический процесс, оборудование, машинное обучение, вероятность, область качества

Summary. The article proposes systems for monitoring and forecasting the states of technological processes and equipment in intelligent science-intensive production. The practical testing of the proposed systems indicates that they can be used for monitoring and forecasting the states of a wide range of technological processes and equipment in intelligent science-intensive production.

Keywords: system, monitoring, forecasting, technological process, equipment, machine learning, probability, quality area.

Введение

Успешное решение проблемы освоения производства отечественной конкурентоспособной высокотехнологичной продукции, прежде всего электронной и машиностроительной, невозможно без создания современного контрольно-измерительного и испытательного оборудования, позволяющего оценивать не только текущее состояние технологического процесса (ТП) и оборудования, но и прогнозировать их возможные состояния.

Следует отметить, что применение автоматизированных систем контроля технологических процессов носит в настоящее время фрагментарный характер, а применение информационных технологий без связи с технологическим оборудованием недостаточно эффективно.

Для минимизации износа существующего оборудования и решения задач по интеграции и интерпретации данных контроля необходимо разрабатывать и внедрять системы мониторинга и прогнозирования состояний технологических процессов и оборудования в реальном времени. При этом особую важность приобретает задача прогнозирования критических состояний, то есть состояний, предшествующих с высокой вероятностью выходу контролируемого параметра за пределы допуска при выполнении той или иной технологической операции.

Внедрение систем мониторинга и прогнозирования должно быть направлено на предотвращение возможных проблем и своевременное реагирование на них, а также повышение качества и эффективности производства, своевременное проведение ремонтно-профилактических работ и фиксацию наработки оборудования.

В основу построения систем должна быть положена Индустрия 4.0, предполагающая использование элементов искусственного интеллекта, методов машинного обучения, цифровых двойников, технологии промышленного Интернета вещей, базы знаний и базы данных.

Цель работы – разработка принципов построения и функционирования систем мониторинга и прогнозирования состояний технологических процессов и технологического оборудования интеллектуального наукоемкого производства.

Система мониторинга и прогнозирования состояний технологического оборудования

В основу построения данной системы [1] положено использование многослойного нейросетевого классификатора (НСК). В данном случае сигналы (рис. 1) с технологического оборудования (например, высокопроизводительного токарно-фрезерного металлорежущего станка) поступают на блок предварительной обработки (БПО), где происходит отсеивание служебных сигналов, не используемых для целей классификации, а также представление данных в виде таблицы. Для обработки табличных данных в режиме обучения используется модель *TabularModel*, представляемая фреймворком *FastAI*, в библиотеке которого для обучения *TabularModel* используется метод градиентного спуска, позволяющий оптимизировать параметры нейросети путем минимизации функции потерь. Обучение нейросети состоит в подстраивании ее слоев таким образом, чтобы минимизировать ошибку предска-

зания на обучающем наборе данных. Процесс обучения носит итеративный характер, при этом число итераций определяется скоростью обучения.

В результате обучения НСК получает способность выделять (различать) основные состояния технологического оборудования: оптимальное – станок работает максимально эффективно, требует минимального технического обслуживания; хорошее – станок работает достаточно эффективно, требует регулярного технического обслуживания; удовлетворительное – эффективность работы станка снижена, требуется техническое обслуживание и настройка; неудовлетворительное – станок работает неэффективно, требует срочного технического обслуживания; критическое – станок работает (или не работает) с очень низкой эффективностью, требует капитального ремонта или замены.

Данная система подключена к платформе Интернета вещей *IIoT Istok*, что обеспечивает формирование базы данных, позволяющей на основе текущих данных о состоянии станка и ранее накопленных данных принимать решение о предполагаемой дате необходимого техобслуживания. Платформа *IIoT Istok* позволяет скорректировать планово-предупредительные ремонтные работы с учетом фактической наработки технологического оборудования, а также смоделировать и спрогнозировать ситуацию на основе машинного обучения и накопленных базы данных и базы знаний. Все это позволяет повысить эффективность управления производственными процессами, снизить время реагирования на критические ситуации и риск выхода из строя дорогостоящего оборудования.

Система мониторинга и прогнозирования состояний технологических процессов

В основу построения данной системы положено вероятностное представление об эффективности выполнения технологических операций (ТО),

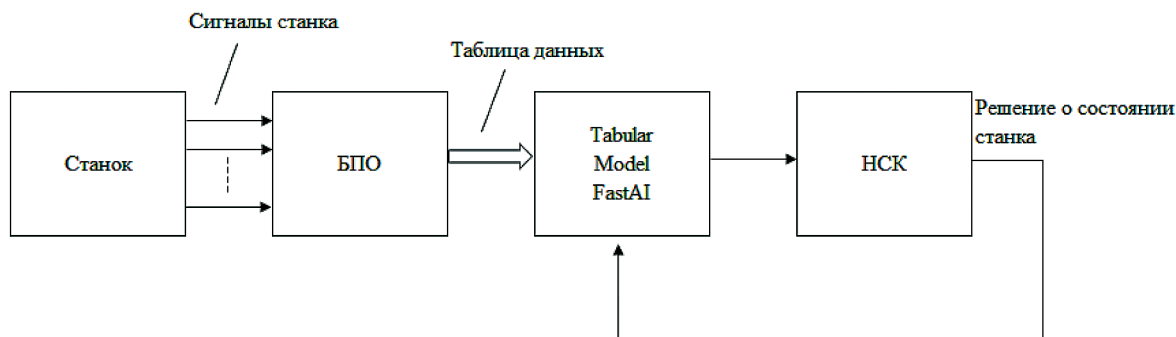


Рисунок 1. Структурная схема машинного обучения НСК

использование базы знаний для их организации и построения математических моделей изготавливаемых изделий, а также ранее полученных результатов по контролю функционирования неравновесно-устойчивых технических систем [2–5].

Система функционирует следующим образом (рис. 2):

- на основе базы знаний и информации с платформы IoT Istok устанавливается режим выполнения ТО и разрабатывается 3D-модель изготавливаемого изделия, детали (Д);
- по завершении ТО производится вероятностная оценка (P_i) эффективности ее выполнения путем сопоставления контролируемого размера (КР) с 3D-моделью;
- полученные вероятностные оценки используются алгоритмом А1 для определения текущих значений $H = f(P, N)$, где N – число ТО, и $\dot{H} = f(H)$, согласно [2, 3];

- в режиме машинного обучения на статистически значимом объеме данных определяется «разброс» вероятностных оценок P_{min}, P_{max} ;

- на основании найденных P_{min} и P_{max} с помощью алгоритма А2 определяются границы области допустимых значений (область качества) $\Delta H = f(P_{min}, P_{max}, N)$, $\Delta \dot{H} = f(\Delta H)$;

- с помощью алгоритма А3 проверяется ситуация выхода текущих значений H и $\dot{H}$ (точка А на двумерном поле наблюдения) за пределы области качества. Если выход имеет место, то выдается сообщение о разладке технологического процесса. Если выхода нет, то текущие значения заносятся в циклический накопитель данных;

- накопленные данные используются алгоритмом А4 для поиска устойчивого тренда на двумерном поле наблюдения внутри области качества, то есть перемещения группы точек А по кривой $H = f(H)$ в направлении границы области качества. При

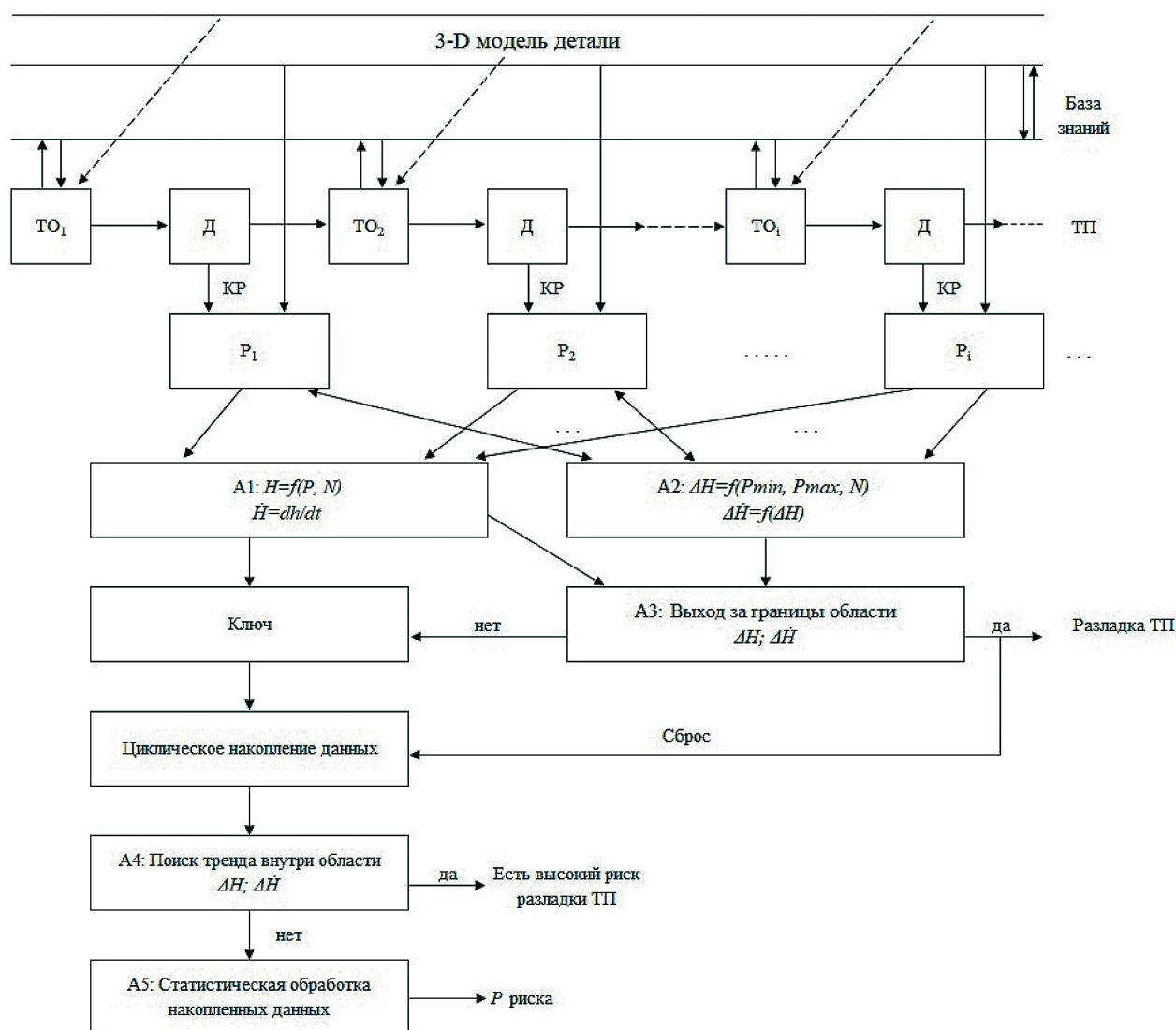


Рисунок 2. Структурная схема алгоритма функционирования системы



наличии тренда выдается сообщение о высоком риске разладки ТП;

- при отсутствии тренда накопленные данные подвергаются статистической обработке с помощью алгоритма А5. Результатом такой обработки является указание вероятности риска разладки технологического процесса.

Данная система проходит практическую апробацию на стадии компьютерного моделирования. Предварительные результаты показывают правильность выбранных принципов мониторинга и прогнозирования состояний технологических процессов интеллектуального наукоемкого производства.

Заключение

Предлагаемые системы позволят повысить экономическую эффективность функционирования интеллектуального предприятия, его адаптационные возможности, конкурентоспособность, качество производимой продукции и, что немало важно, создают условия для существенного пополнения базы знаний и базы данных.

Источники

1. Анцыферов С.С. и др. Система мониторинга и прогнозирования поведения оборудования на базе IIoT // Автоматизация в промышленности. 2024. № 3. С. 51–55.
2. Анцыферов С.С., Сигов А.С., Фазилова К.Н. Методология контроля функционирования неравновесно-устойчивых технических систем // Проблемы искусственного интеллекта. 2021. № 1(20). С. 18–26.
3. Анцыферов С.С., Фазилова К.Н., Русанов К.Е. Методика контроля качества технологических процессов интеллектуального машиностроительного производства // Наукоемкие технологии. 2023. Т. 24. № 7. С. 39–43.
4. Анцыферов С.С., Тихонов И.А. Интеллектуализация предприятий электронной промышленности и управление рисками // Проблемы искусственного интеллекта. 2023. № 4(31). С. 29–39.
5. Анцыферов С.С., Фазилова К.Н., Русанов К.Е. Интеллектуальные системы управления технологическими процессами // Проблемы искусственного интеллекта. 2024. № 2(43). С. 37–44.

References

1. Antsyferov S.S. et al. System for monitoring and predicting equipment behavior based on IIoT // Automation in Industry. 2024. No. 3. pp. 51–55.
2. Antsyferov S.S., Sigov A.S., Fazilova K.N. Methodology for monitoring the functioning of nonequilibrium-stable technical systems // Problems of Artificial Intelligence. 2021. No. 1(20). pp. 18–26.
3. Antsyferov S.S., Fazilova K.N., Rusanov K.E. Methodology for quality control of technological processes in intelligent mechanical engineering production // Science-intensive technologies. 2023. Vol. 24. No. 7. pp. 39–43.
4. Antsyferov S.S., Tikhonov I.A. Intellectualization of Electronics Industry Enterprises and Risk Management // Problems of Artificial Intelligence. 2023. No. 4(31). Pp. 29–39.
5. Antsyferov S.S., Fazilova K.N., Rusanov K.E. Intelligent Process Control Systems // Problems of Artificial Intelligence. 2024. No. 2(43). Pp. 37–44.



УДК 001.51:001.8:004:623.618:658.5

Направления совершенствования и развития автоматизированных систем

А.С. Карусевич,

заместитель начальника центра,
АО «Ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский институт
автоматической аппаратуры имени
академика В.С. Семенихина»
(АО «НИИАА»); Москва
e-mail: karusevich_as@niiiaa.ru

И.Е. Серебряков,

заместитель начальника центра,
АО «НИИАА»; Москва
e-mail: ie-serebryakov@yandex.ru

Е.И. Митрушкин,

ученый секретарь, доктор технических
наук, профессор, АО «НИИАА»; Москва
e-mail: karusevich_as@niiiaa.ru

Аннотация. Предложены направления совершенствования и развития автоматизированных систем специального и гражданского назначения в целях обеспечения обороноспособности и технологического развития нашей страны от различных групп угроз биологического, природного или человеческого фактора.

Ключевые слова: автоматизированная система, направления совершенствования и развития, комплексная программа развития автоматизированных систем.

Summary. The directions of improvement and development of automated systems for special and civilian purposes are proposed in order to ensure the defense capability and technological development of our country from various groups of threats of biological, natural or human factors.

Keywords: automated system, directions of improvement and development, comprehensive program for the development of automated systems.

Введение

В настоящее время человечество переживает не лучшие времена, обострились локальные военные конфликты и глобальные угрозы человечеству, ставящие в опасность само существование цивилизации. К основным угрозам относятся следующие [1–4].

1. Группа угроз «ПРИРОДА»:
 - истощение природных ресурсов планеты. Разрушение биосферы;
 - мутация микроорганизмов и вирусов, глобальная пандемия;
 - экологический крах. Климатические изменения, глобальное потепление;
 - природные катаклизмы – землетрясения, цунами, наводнения, вулканические извержения. Смена магнитных полюсов планеты. Разрушение озонового слоя Земли;
 - угрозы из космоса – метеоритная опасность и аномальные вспышки, выбросы при изменениях солнечной активности.
2. Группа угроз «ОБЩЕСТВО»:
 - новая демографическая революция. Недостаток продуктов питания. Социальное расслоение общества. Миграционный кризис;
 - мировое противостояние культур. Мировоззренческие религиозные и межнациональные противоречия;
 - геостратегическая напряженность (крах глобального миропорядка, информационные войны, угроза новой мировой войны, возможность ядерной войны);
 - глобальное недоверие к политическим убеждениям;
 - научный, технический и технологический прогресс (компьютеризация, «темная сторона» Интернета, виртуализация общества, искусственный интеллект).
3. Группа угроз «ЧЕЛОВЕК»:
 - биологические и психологические изменения человека;
 - снижение уровня образованности, интеллектуальная и нравственная деградация личности. Трансформация института семьи;
 - «разрыв поколений» в культуре, науке, образовании, сфере высоких технологий и многие другие.

Защита от возможных угроз нашей страны и цивилизации в целом представляет собой сверхглобальную проблематику. Поэтому в предлагаемой статье отражен лишь подход к разрешению частных, но важных проблем противодействия мирового противостояния культур и геостратегической напряженности, обуславливающего необходимость постоянного обеспечения обороноспособности и технологического развития нашей страны.

Мировая гонка технологий приводит к внедрению самых современных инноваций в важнейшие сферы деятельности. Любое отставание от соперников может привести к увеличению уязвимости обороноспособности нашей страны. В частности, существующие методы построения и информационные технологии автоматизированных систем (АС) не в полной мере обеспечивают всё возрастающие требования к их процессам, сервисам и характеристикам.

В целях обеспечения обороноспособности и технологического развития страны необходим комплекс перспективных направлений совершенствования и развития автоматизированных систем специального и гражданского назначения.

Направления совершенствования и развития АС

Для создания указанного комплекса к настоящему времени намечены и проработаны различные направления совершенствования и развития всего многообразия АС. Разобщенность этих направлений обуславливает необходимость их систематизации и создания многоуровневой архитектуры.

На основе системного подхода (от большего к частному) в данной статье предлагается многоуровневая взаимоувязанная архитектура важнейших направлений и информационных технологий совершенствования и развития АС. Она включает направления и работы, представленные на рисунке.



Архитектура направлений совершенствования АС



Рассмотрим некоторые из них. Фрагментарность и краткость изложения обусловлена недостаточной проработкой некоторых конкретных направлений, методов и технологий.

Совершенствование и развитие АС в целом

К основным путям совершенствования и развития АС относятся:

- интеграция разнородных автоматизированных систем;
- создание систем коллективного пользования с общим информационным пространством;
- миграция атомарных АСУ и (или) их модулей на виртуальные ресурсы;
- интеграция различных автоматизированных систем силового блока, предприятий оборонно-промышленного комплекса, российских финансовых и бизнес-структур для эффективного использования накопленных информационных и вычислительных ресурсов;
- обеспечение катастрофоустойчивой архитектуры АС;
- интеграция управляющих, информационных, телекоммуникационных и исполнительных технологий АС и др.

Совершенствование объектов автоматизации АС

К основным подходам совершенствования объектов автоматизации (автоматизированных объектов) АС относятся:

- интеграция разнородных комплексов каждого объекта автоматизации [2];
- интеграция организационных, управляющих, информационных и исполнительных технологий, процессов, средств и др.

Совершенствование комплексов средств автоматизации и связи

- Применение модульной архитектуры комплексов средств автоматизации и связи, упрощающая их дальнейшую модернизацию [2];
- использование кластерной архитектуры;
- создание гиперконвергентной платформы (горизонтально или вертикально масштабируемой вычислительной сети) и др.

Совершенствование систем и технологий телекоммуникаций

- Создание защищенной инфотелекоммуникационной платформы в интересах обороны и безопасности государства, интеграция услуг;
- развитие топологий систем;

- использование новых алгоритмов обмена данными и управления потоками для снижения времени доставки информации;
- разработка квантовых технологий передачи данных для повышения скрытности обмена данными;
- внедрение технологии Службы распространения данных DDS;
- виртуализация сетевых функций NFV;
- интеллектуализация систем, применение баз знаний и искусственного интеллекта для управления телекоммуникационными сетями;
- оперативная перенастройка сети под текущую оперативную задачу и др.

Совершенствование систем и технологий связи

К методам совершенствования систем и технологий связи относятся:

- применение беспроводной энергоэффективной сети дальнего действия (LPWAN);
- повсеместное использование мультисервисных цифровых систем связи;
- внедрение спектрального уплотнения каналов DWDM;
- применение технологий сетей доступа 5G, SDN/NFV, SDR/NFV и др.

Совершенствование архитектуры, методов и технологий исследования АС

- Создание обобщенной архитектуры исследования АС;
- повышение роли системного анализа, углубление и развитие его методологий и технологий различных областей деятельности;
- формирование общепризнанной иерархии характеристик и критериев эффективности;
- создание инженерных методов оценки и прогнозирования характеристик и эффективности АС и их составных частей, а также использования ресурсов;
- углубление методологии моделирования предметной области, создание иерархии типовых моделей и другие решения проблем социального, экологического и иного моделирования, создание иерархии типовых моделей;
- развитие методов концептуального, когнитивного и математического исследования (в том числе и математических методов итеративной регрессионной оценки на основе локального SVD-разложения, метода на основе ассоциативных правил и метода обработки статистических данных на основе «бутстреп-метода»);
- рост комплексной автоматизации процессов исследования, применение автоматизированных

систем научных исследований, интеграция информационных технологий исследований, применение принципов расширяемости и адаптируемости, использование искусственного интеллекта (ИИ);

- углубленное изучение влияния человеческого фактора и др.

Совершенствование методов и технологий процессов управления

- Обеспечение сетцентрического управления;
- применение удаленного управления, в том числе в движении;
- создание автоматизированного планирования управления;
- углубление интеллектуализации труда и технологий искусственного интеллекта, в том числе поддержки принятия решений, применение искусственного интеллекта (ИИ);
- разработка нейросетевых алгоритмов управления;
- использование матриц программно-целевых методов управления, а также проблемно ориентированных методов управления;
- использование принципов типизации, унификации и агрегатирования;
- применение интеграции автоматизированных процессов управления;
- совершенствование роботизации (наземной, воздушной, подводной и иной);
- использование набора аналитических задач для расчета вероятностно-временных характеристик, оценки значений неизвестных показателей технических средств;
- формирование последовательно выполняемых процессов, включающих получение задания, сбор информации, ее анализ, оценка полноты и достоверности информации;
- использование алгоритмов адаптации и отказоустойчивости систем управления и др.

Совершенствование технологий обработки информации

- Создание Единого информационного пространства (интеграция информационных ресурсов);
- использование мультиоблачной обработки информации;
- совершенствование информационно-аналитических систем (технологий искусственного интеллекта, Big Data, Data mining, нейросетей);
- внедрение распределенной обработки непрерывных последовательных цепочек блоков (связных списков, блокчейнов);

- обеспечение оперативного информационного восстановления средств и комплексов после восстановления их работоспособности из-за сбоев, отказов, частичного разрушения и др.

Совершенствование информационной поддержки жизненного цикла АС

- Совершенствование нормативно-технической документации (НТД) и создание единой НТД в области автоматизации; установление ответственности за нарушения их правил;
- систематизация, обобщение и перевыпуск ГОСТ и руководящих документов в области автоматизации;
- создание единого «Перечня терминов и их определений» в области автоматизации;
- совершенствование системы планирования стадий, этапов и работ жизненного цикла, масштабирование ее для новых функций и подразделений;
- обеспечение интеллектуальности системы;
- создание полной информационной модели;
- организация обучения персонала с новыми возможностями и др.

Совершенствование технологий разработки программного обеспечения

- Совместимость с сертифицированными по требованиям безопасности МО РФ, ФСТЭК России операционными системами (Astra Linux, Альт 8 СП, Стрелец, Эльбрус-Д и др.) и системами управления баз данных;
- совместимость с вычислительными комплексами, функционирующими на разных микропроцессорах (x86, E2K, ARM, Zhaoxin, Powerstar, Эльбрус и др.);
- унификация и модульность построения программного обеспечения для обеспечения совершенствования программ путем замены и (или) добавления программных модулей без переписывания основного кода программы;
- переход от монолитной к сервисной архитектуре (SOA, Enterprise Service Bus, REST, Microservices Architecture) для упрощения масштабирования, обновления и повышения отказоустойчивости программ;
- использование виртуализации как способа интеграции унаследованного (устаревшего) программного обеспечения в современные АС;
- разработка программного обеспечения в соответствии с ГОСТ Р 56939;
- использование механизмов верификации для проверки данных и программ на их достоверность;
- использование механизмов валидации для проверки соответствия программных процессов,



моделей, алгоритмов на корректность, целостность и согласованность;

- доверие к сгенерированному искусственным интеллектом исходному коду программного обеспечения;
- доверие к данным для обучения ИИ;
- использование партиционно устойчивых структур в распределенных системах хранения данных АС;
- оптимизации кода с использованием JIT-компиляции для повышения производительности программного обеспечения.

Совершенствование информационного и лингвистического обеспечения

- Реализация принципов семантической интероперабельности в АС применением нормативных документов, документов по стандартизации оборонной продукции и протоколов информационно-технического взаимодействия между АС;
- реализация принципов семантической интероперабельности в АС применением унифицированных моделей, форматов и структур данных (XML, XSD, RDF, OWL, JSON, YAML, Protocol Buffers, SXF, S57, GML, MIF и др.);
- реализация принципов технической интероперабельности в АС применением открытых интерфейсов, протоколов, стандартов программного обеспечения, независимости от аппаратного обеспечения;
- унификация языков: описания данных (syslog, XML, JSON, HTML и др.), манипулирования данными (sql), программирования (C, C++, C#, JavaScript, PHP, ExtJS и др.) при обеспечении информационного взаимодействия между АС;
- унификация системы кодирования системных классификаторов на основе общероссийских и отраслевых;
- унификация электронных форм документов для обеспечения взаимодействия между автоматизированными системами;
- создание единой цифровой модели местности;
- создание языков программирования для квантовых вычислений.

Совершенствование методов обеспечения безопасности АС

- Разработка нормативных правовых актов, организационно-распорядительных и нормативно-методических документов по обеспечению безопасности АС;
- углубление политик безопасности АС;
- совершенствование интеграции систем защиты информации, взаимодействующих АС;

- применение шифрования данных, межсетевых экранов, систем обнаружения вторжений, антивирусных средств, двухфакторной аутентификации;
- совершенствование системы сертификации аппаратно-программного и программного обеспечения;
- использование доверенного программного обеспечение, доверенной среды разработки;
- обеспечение непрерывного мониторинга, анализа и выявления инцидентов безопасности в АС;
- внедрение механизмов восстановления после инцидентов;
- разработка новых методов своевременного выявления угроз, оценки рисков и создание модели защиты;
- создание комплексной многорубежной системы защиты информации АС (от рубежа защиты АС в целом до рубежа защиты информации), отвечающей современному уровню и перспективе развития информационных технологий и минимизирующей участие персонала в настройке и эксплуатации ее аппаратно-программных средств [3];
- организация обучения персонала с новыми возможностями и др.

Совершенствование методов безопасной передачи информации

- Создание методов шифрования, основанных на принципах квантовых вычислений;
- использование квантовых ключей для безопасной передачи информации;
- разработка математических алгоритмов, устойчивых к квантовым атакам;
- разработка технологии создания цифровой подписи для информации, содержащей государственную тайну;
- применение технологий блокчейна для гарантии целостности данных, децентрализации, отказоустойчивости, отслеживаемости и прозрачности.

Совершенствование методов защиты от несанкционированного доступа к информации

- Унификация доменов безопасности (Astra Linux Directory, Elbrus Linux Directory, FreeIPA и др.);
- использование доменных структур системного уровня в АС;
- использование доменных методов идентификации и аутентификации в территориально-распределенных АС;

- обязательное применение доменных технологий: LDAP, Kerberos 5, CIFS и др.;
- использование меток конфиденциальности по ГОСТ Р 58256;
- использование российских программных алгоритмов криптографии («Магма», «Кузнечик») по ГОСТ Р 34.12–2015 при функционировании программного обеспечения в АС;
- использование замкнутой программной среды, внедрение цифровой подписи для исполняемых файлов.

Совершенствование методов эксплуатации АС

- Совершенствование процессов функционирования и обслуживания путем использования управляющих систем для выполнения и улучшения заданных целевых функций;
- разработка процесса управления конфигурациями для совершенствования поддержания работоспособности АС и решения целевых задач;
- совершенствование регламентов и инструкций по эксплуатации и техническому обслуживанию АС;
- реализация раннего обнаружения деградации для снижения незапланированных простоев;
- обеспечение работы сервисного обслуживания АС (мониторинг и тестирование);
- внедрение дистанционной поддержки обслуживания комплексов;
- использование искусственного интеллекта при проведении обслуживания;
- создание многофункциональной автоматизированной системы сервисного обслуживания;
- совершенствование подготовки обслуживающего персонала с использованием методов «Дополненной реальности» и др.

Совершенствование экономики АС

- Выбор экономически эффективных направлений автоматизации, тщательное планирование и комплексная оценка каждого варианта проекта автоматизации;
- создание комплекса работ и мероприятий, направленного на повышение эффективности и конкурентоспособности акционерных обществ и компаний, обеспечение безопасности, автоматизация и оптимизацию исследовательских, проектных, производственных, эксплуатационных, финансовых и других процессов;

- развитие регулирующей законодательной, нормативной, научной и практической базы этого комплекса;
- овершенствование подготовки кадров и многое другое.

Выводы

1. Представленная архитектура, по мнению авторов, в достаточно полной степени освещает широкий спектр перспективных направлений и путей совершенствования и развития автоматизированных систем специального и гражданского назначения, а также их составных частей.

2. Эти направления и пути могут быть использованы в качестве базиса для формирования «Комплексной программы совершенствования и развития» конкретной автоматизированной системы или «Комплексной программы интеграции и развития» автоматизированных системы.

3. Архитектура может быть уточнена и дополнена по результатам исследования и проработки конкретных направлений, путей, методов и технологий.

Источники

1. Колин К.К. Глобальные угрозы развитию цивилизации в XXI веке // Стратегические приоритеты. 2014. № 1. С. 6–30.
2. Митрушкин Е.И., Бутрова Е.В. Проектирование автоматизированных систем обработки информации и управления [Электронный ресурс]: Учеб. пособие. М.: РТУ МИРЭА, 2025. 103 с. Электрон.-опт. диск (ISO).
3. Митрушкин Е.И., Шавыкин В.Р. Безопасность распределенной автоматизированной системы // Вопросы защиты информации. 2020. № 1(128). С. 42–48.

References

1. Colin K.K. Global Threats to the Development of Civilization in the 21st Century // Strategic Priorities. 2014. No. 1. pp. 6–30.
2. Mitrushkin E.I., Butrova E.V. Design of Automated Information Processing and Control Systems [Electronic resource]: Textbook. Moscow: RTU MIREA, 2025. 103 p. Electron.-optical disk (ISO).
3. Mitrushkin E.I., Shavykin V.R. Security of a Distributed Automated System // Information Security Issues. 2020. No. 1(128). pp. 42–48.



Архитектура киберфизической системы удаленного управления складской логистикой гетерогенных активов на основе мультисенсорной фузии данных

А.Б. Морозов,

*аспирант, Санкт-Петербургский
государственный университет
аэрокосмического приборостроения;
Санкт-Петербург*

А.А. Безгодов,

*канд. воен. наук, доцент, Санкт-
Петербургский государственный
университет аэрокосмического
приборостроения; Санкт-Петербург*

Аннотация. В статье рассматривается проблема создания интеллектуальной системы управления для современных складских комплексов, работающих с разнородными активами – от стандартизированных товаров на роботизированных складах до уникального и субарендованного оборудования в концертной индустрии. Анализ существующих решений выявляет их фрагментарность: системы радиочастотной идентификации (RFID) обеспечивают отслеживание, но не контролируют состояние; тензометрические датчики фиксируют вес, но не идентифицируют объект; системы учета на основе реляционных баз данных (БД) содержат бизнес-логику, но оторваны от физического мира в реальном времени; компьютерное зрение решает задачи распознавания немаркированных объектов, но не работает в замкнутом контуре управления.

В качестве решения предлагается архитектура киберфизической системы (КФС), основанная на концепции цифрового двойника (ЦД) и мультисенсорной фузии данных. Система интегрирует потоки данных от RFID-ворот и тележек, тензодатчиков на роботах-платформерах, камер компьютерного зрения и детализированной реляционной БД учета жизненного цикла оборудования. Теоретической основой является модель адаптивного цифрового двойника, динамически наполняемого атрибутами

из различных источников и выступающего единым объектом для мониторинга, анализа и предиктивного управления.

Предложенная архитектура реализует замкнутый контур управления «сенсоры → фузия данных → ЦД → аналитика → управляющее воздействие». В статье детально описаны сценарии работы системы: автоматизированная приемка/отгрузка с кросс-проверкой данных по RFID и весу, превентивное обслуживание на основе анализа истории эксплуатации и телеметрии, динамическая маршрутизация роботов с учетом габаритов и веса грузов, а также учет субарендованного оборудования. Показано, что синтез технологий обеспечивает переход от реактивного к предиктивному и адаптивному удаленному управлению логистикой, повышая точность учета до 99,9%, снижая операционные риски и оптимизируя использование ресурсов. Обсуждаются направления дальнейших исследований в области алгоритмов машинного обучения для фузии данных, безопасности КФС и экономического моделирования внедрения.

Ключевые слова: киберфизическая система, цифровой двойник, складская логистика, удаленное управление, мультисенсорная фузия данных, RFID, тензодатчик, компьютерное зрение, субаренда оборудования, предиктивная аналитика.

Summary. The article addresses the problem of creating an intelligent management system for modern warehouse complexes that handle heterogeneous assets—from standardized goods in robotic warehouses to unique and subleased equipment in the concert industry. Analysis of existing solutions reveals their fragmentation: radio-frequency identification (RFID) systems provide tracking but do not monitor condition; strain gauge sensors measure weight but do not identify objects; accounting systems based on relational databases (DB) contain business logic but are disconnected from the physical world in real time; computer vision solves the tasks of recognizing unmarked objects but does not operate within a closed

control loop.

As a solution, an architecture of a cyber-physical system (CPS) is proposed, based on the concept of a digital twin (DT) and multisensor data fusion. The system integrates data streams from RFID gates and carts, strain gauges on robotic platforms, computer vision cameras, and a detailed relational database for equipment lifecycle accounting. The theoretical foundation is the model of an adaptive digital twin, dynamically populated with attributes from various sources and serving as a unified object for monitoring, analysis, and predictive control.

The proposed architecture implements a closed control loop: sensors → data fusion → DT → analytics → control action. The article details the system's operational scenarios: automated receiving/shipping with cross-validation via RFID and weight data, preventive maintenance based on the analysis of operational history and telemetry, dynamic routing of robots considering cargo dimensions and weight, and accounting for subleased equipment through computer vision. It is demonstrated that the synthesis of technologies enables a transition from reactive to predictive and adaptive remote management, increasing accounting accuracy to 99.9%, reducing operational risks, and optimizing resource utilization. Directions for further research in machine learning algorithms for data fusion, CPS security, and economic modeling of implementation are discussed.

Keywords: cyber-physical system, digital twin, warehouse logistics, remote management, multisensor data fusion, RFID, strain gauge, computer vision, equipment subleasing, predictive analytics.

Введение

Актуальность. Современные логистические комплексы эволюционируют в сторону повышения степени автоматизации, разнообразия обрабатываемых активов и требований к скорости, точности и безопасности операций. Параллельно существуют два ключевых варианта организации: 1) высокопроизводительные роботизированные склады, где критичны точность и скорость перемещения массовых грузов [1]; 2) склады уникального оборудования (например, концертного), где каждый актив имеет высокую стоимость, сложный жизненный цикл и специфические требования к обработке [2]. Управление такими сложными складскими комплексами требует преодоления «информационных разрывов» между физическим миром (состояние, местоположение объектов) и киберпространством (учетные системы, бизнес-правила).

Проблематика. Существующие технологические решения носят фрагментарный характер:

– RFID-системы (ворота, мобильные считыватели) решают задачу автоматической идентификации и отслеживания маркированных объектов, но не предоставляют данных об их физическом состоянии (вес, целостность) [2];

– тензометрические системы, интегрированные в роботов-платформеров, позволяют контролировать весовую нагрузку для предотвращения перегрузок, но не идентифицируют перемещаемый груз, оставаясь «слепыми» с точки зрения учета [1];

– реляционные системы учета (системы управлением склада, специализированные БД) детально описывают бизнес-логику и жизненный цикл оборудования, включая статусы, историю ремонтов и данные субаренды. Однако их данные зачастую вносятся и обновляются вручную, с задержкой, что делает их «цифровым слепком» прошлого, а не отражением текущей реальности;

– компьютерное зрение позволяет распознавать немаркированные объекты, оценивать их габариты и визуальное состояние, но традиционно применяется изолированно, без интеграции в контур управления и без связи с данными о весе или учетными записями.

Отсутствие системной интеграции этих технологий в единый контур управления приводит к ошибкам инвентаризации, потерям времени, рискам повреждения дорогостоящего оборудования и неэффективному использованию складских мощностей.

Цель исследования – разработать и теоретически обосновать архитектуру киберфизической системы удаленного управления складской логистикой, обеспечивающей интеграцию гетерогенных источников данных (RFID, тензометрия, компьютерное зрение, БД) на основе концепции цифрового двойника для реализации сквозного предиктивного и адаптивного управления.

Научная новизна заключается в следующем.

1. Синтез четырех разнородных технологических систем (автоматизированная идентификация, телеметрия, компьютерное зрение, модели данных жизненного цикла) в рамках единой архитектуры КФС.

2. Разработка модели адаптивного цифрового двойника складского актива, способного динамически наполняться атрибутами из различных источников данных и выступающего центральной сущностью для фузии данных и управления.

3. Предложение методологии мультисенсорной фузии в реальном времени для перекрестной проверки событий (например, совмещение события RFID «проход метки» с событием тензодатчика «изменение веса» и визуальным образом с камеры).



4. Формализации подхода к учету субарендованного (немаркированного) оборудования через создание временных цифровых двойников на основе данных компьютерного зрения и телеметрии.

Практическая значимость. Предлагаемая архитектура служит основой для создания промышленных решений, способных повысить точность учета до 99,9%, сократить время на поиск и инвентаризацию на 30–50%, минимизировать риски повреждения активов и оптимизировать маршруты внутри-складской транспортировки.

Теоретические основы и концепция системы

Киберфизические системы в логистике

Киберфизическая система – это интеграция вычислительных и коммуникационных возможностей («кибер») с физическими процессами, где датчики и исполнительные устройства объединены в сеть для мониторинга и управления физическим миром с помощью обратной связи [3]. В контексте склада физический уровень – это оборудование, роботы, датчики; кибер-уровень – это программные модели, алгоритмы аналитики и интерфейсы управления. Ключевой особенностью является замкнутый контур управления, где данные с сенсоров непрерывно анализируются для выработки управляющих воздействий, исполняемых в физическом мире.

Цифровой двойник как ядро киберфизической системы

Цифровой двойник (ЦД) – это виртуальное представление физического объекта или процесса, синхронизированное с ним на протяжении всего жизненного цикла посредством обмена данными [4]. В предлагаемой архитектуре ЦД становится центральной абстракцией, агрегирующей все характеристики складского комплекса:

- статические атрибуты: инвентарный номер, модель, производитель, технические характеристики (из БД);

- динамические атрибуты (*Real-time*): текущий вес (с тензодатчиков), точное местоположение (по RFID/компьютерному зрению), внешнее состояние (с камер);

- исторические и прогнозные данные: история перемещений, ремонтов, наработка в часах, прогноз вероятности поломки (на основе моделей машинного обучения);

- контекстуальные данные: статус (в эксплуатации, на ремонте, в субаренде), принадлежность (собственный/арендованный), привязка к заказу.

Таким образом, ЦД – это не просто запись в БД, а динамическая, обновляемая в реальном времени информационная сущность, служащая единым источником данных для всех подсистем.

Концепция мультисенсорной фузии данных для логистики

Для создания целостной картины необходима фузия (слияние) данных от разнородных сенсоров [5]. В нашем случае применяется фузия на уровне событий и атрибутов.

1. Дополнение (*Complementary Fusion*): данные от разнородных сенсоров агрегируются для формирования целостного описания объекта, которое невозможно получить с помощью одного источника. Каждый сенсорный поток в реальном масштабе времени предоставляет информацию об определенной характеристике объекта.

Пример: данные идентификации (RFID, штрих-код) устанавливают *сущность* объекта, данные телеметрии характеризуют его *физическое состояние*, а данные визуального анализа (компьютерное зрение) определяют геометрические параметры и внешние атрибуты. Интегрированные в единой модели, они формируют исчерпывающий цифровой профиль актива.

2. Проверка (*Redundant/Validation Fusion*): данные от разных сенсоров, относящиеся к одному событию или объекту, сопоставляются и проверяются на согласованность для повышения достоверности получаемой информации.

Пример: RFID-ворота зафиксировали проход метки ID-123. Одновременно камера над воротами распознала визуальный образ, ассоциированный с ID-123 в БД образов. Два независимых источника подтверждают одно событие (объект с меткой ID-123 прошел через RFID-ворота), снижая вероятность ошибки считывания. Событие корректной идентификации объекта при проходе через ворота можно записать как:

$$E_{\text{идентиф}} = (E_{\text{RFID}} \wedge E_{\text{vision}}) | P > P_{\text{порог}}$$

где E_{RFID} и E_{vision} – события от RFID и камеры соответственно, а условие выполняется при вероятности P выше заданного порога $P_{\text{порог}}$.

3. Синтез (*Synthetic Fusion*): на основе данных от нескольких сенсоров вычисляется новый атрибут.

Пример: по видеопотоку оцениваются габариты объекта, по тензодатчику – его вес. Система вычисляет плотность груза (вес/объем), что может быть индикатором ошибки упаковки или несанкционированного вложения.

Архитектура киберфизической системы

Архитектура системы представлена на рисунке и включает четыре основных уровня.



Общая архитектура киберфизической системы управления складской логистикой

Физический и сенсорный уровень

Это уровень физической реализации и сенсорной регистрации. Данный уровень включает следующее.

1. Объекты управления: собственное оборудование (с RFID-метками UHF), субарендованное оборудование (без постоянных меток), роботы-платформеры, вилочные погрузчики, транспортные тележки.

2. Сенсорная сеть:

а) RFID-инфраструктура. Стационарные RFID-ворота на логистических проездах (с несколькими антеннами для перекрытия зоны), мобильные RFID-считыватели на тележках и погрузчиках;

б) тензометрическая сеть. Тензодатчики, интегрированные в опорные элементы каждого робота-платформера для точного измерения веса груза;

с) система компьютерного зрения. Стереокамеры или RGB-D-камеры, установленные в зонах

приемки/отгрузки, над ключевыми проходами и на самих роботах-платформерах.

д) Прочие датчики. GPS/ГЛОНАСС-модули на технике, датчики удара/наклона на ценном оборудовании.

Уровень цифровой платформы

Ядро системы, реализованное в облачной или гибридной среде. Основные элементы цифровой платформы:

– слой приема и обработки событий (*Event Processing Layer*). Принимает потоковые данные от всех сенсоров. Нормализует их, присваивает метки времени и идентификаторы источника;

– слой цифровых двойников (*Digital Twin Layer*). Реестр ЦД хранит и управляет жизненным циклом всех ЦД. Поддерживает два типа ЦД:

а) постоянные ЦД. Предназначены для собственного оборудования. Создаются на основе записи в основной БД и привязываются к RFID-метке;

б) временные ЦД. Предназначены для субарендованного оборудования. Создаются системой компьютерного зрения автоматически при первой детекции немаркированного объекта. Инициализируются визуальными дескрипторами, габаритами и весом. Вручную или автоматически (через интеграцию с CRM) связываются с договором субаренды;

– механизм фузии данных. Является ключевым модулем. На основе правил и алгоритмов (в том числе машинного обучения) связывает входящие события от разных сенсоров с конкретным ЦД. *Пример алгоритма: *Если в промежуток Δt произошли события: 1) RFID-ворота зафиксировали метку ID-A, 2) тензодатчик робота R сообщил о прибавке веса ΔW , 3) камера на роботе R распознала объект класса «Колонка», то с вероятностью $P > P_{thr}$ все три события относятся к ЦД с ID-A. Его атрибуты обновляются;

– слой аналитики и интеллектуального управления (*Analytics & Control Layer*). Включает следующие модули:

а) модуль контроля операций. Сравнивает фактические данные (список меток, прошедших ворота, общий вес) с плановыми данными из заказа (ТТН). При несоответствии генерирует сообщение об ошибке;

б) предиктивный модуль обслуживания. Анализирует историю эксплуатации ЦД (наработка, ремонты) и текущую телеметрию (вибрация, перегрев с датчиков) для прогнозирования отказов;

с) модуль динамической оптимизации. На основе данных о весе (тензодатчики), габаритах (ИЗ) и карте склада в реальном времени оптимизирует



маршруты роботов, предотвращает столкновения и перегрузки зон;

д) модуль управления субарендой. Контролирует сроки аренды, автоматически формирует напоминания о возврате, управляет статусами временных ЦД;

– слой данных и интеграции (*Data & Integration Layer*). Включает следующие элементы:

а) гибридная база данных. Комбинация реляционной БД (для структурированных учетных данных по модели из [2]) и базы данных временных рядов (*Time-Series DB*) для хранения истории показаний сенсоров;

б) API и шины данных. Обеспечивают интеграцию с внешними системами (ERP, CRM, системы бухгалтерского учета).

Уровень передачи и агрегации данных

На данном уровне обеспечивается сбор и первичная обработка данных:

– промышленные IoT-шлюзы на роботах и стационарных точках агрегируют потоки данных с локальных сенсоров (тензодатчики, камеры);

– высокопроизводительная беспроводная сеть (Wi-Fi 6/Industrial 5G) для передачи больших объемов данных (видеопотоков, телеметрии) в реальном времени;

– *Edge*-вычисления. Предварительная обработка видеоданных (детекция объектов, сжатие) непосредственно на камерах или шлюзах для снижения нагрузки на центральные серверы.

Уровень удаленного управления

Уровень удаленного управления включает:

а) веб-дашборд и мобильное приложение. Визуализация в реальном времени: карта склада с перемещающимися ЦД роботов и оборудования, панели со статусами, предиктивными оповещениями, аналитическими отчетами;

б) интерфейс оператора. Точки вмешательства для подтверждения действий, обработки исключений (например, подтверждение поломки оборудования), ручного управления.

Сценарии работы интегрированной системы

Автоматизированная отгрузка с перекрестной проверкой

1. *План*. В системе формируется заказ на отгрузку. В ЦД каждого требуемого оборудования статус меняется на «К отгрузке». Роботу назначается маршрут.

2. *Исполнение*. Робот забирает кейс. Тензодатчики фиксируют вес, RFID-считыватель на работе подтверждает ID метки. Данные консолидируются в ЦД кейса.

3. *Контроль*. При проезде оборудования с датчиком через RFID-ворота система сверяет считанные ID со списком заказа. Камеры на воротах делают снимок для визуальной фиксации.

4. *Валидация*. Система проверяет, попадает ли измеренный вес $W_{изм}$ в допустимый диапазон относительно номинального веса $W_{ном}$ из ЦД:

$$|W_{изм} - W_{ном}| \leq \delta$$

где δ – допустимое отклонение, заданное для данного типа актива.

5. *Результат*. При полном совпадении данных отгрузка подтверждается автоматически, статусы ЦД обновляются. При расхождении данных оператор получает оповещение с указанием конкретного несоответствия (не та метка, неверный вес, видимые повреждения).

Учет и отслеживание субарендованного оборудования

Рассмотрим, как функционирует система учета на примере приемки на склад светового прибора.

1. *Приемка*. На склад поступает немаркированный световой прибор от партнера. В зоне приемки камера детектирует новый объект, модуль компьютерного зрения классифицирует его как «Прожектор *Moving Head*» и оценивает габариты.

2. *Создание ЦД*. Система автоматически создает «Временный ЦД», заполняя поля «Тип», «Габариты», «Владелец: Неизвестен». Прибор взвешивается на платформе с тензодатчиками – атрибут «Вес» обновляется.

3. *Идентификация*. Оператор через интерфейс выбирает из списка партнеров компанию-арендодателя и вводит данные по договору. Временный ЦД связывается с договором субаренды.

4. *Отслеживание*. При перемещениях по складу прибор идентифицируется не по RFID, а по визуальным дескрипторам с камер на роботах или в проходах. Его местоположение и статус («В работе на площадке X») обновляются в его ЦД.

5. *Возврат*. При возврате система по внешним признакам и данным о весе подтверждает комплектность и отсутствие повреждений, автоматически закрывая временный ЦД и формируя акт приемки оборудования. При этом временный ЦД перемещается в архив, так как один и тот же прибор может неоднократно поступать от арендодателя.

Превентивное обслуживание и динамическая маршрутизация

1. *Мониторинг*. Например, ЦД микшерного пульта содержит историю эксплуатации (1500 часов). Тензодатчик робота, перевозящего его, фиксирует нехарактерную вибрацию.

2. **Аналитика.** Предиктивный модуль, получив эти данные, увеличивает показатель «Риск поломки» для данного ЦД до 70%.

3. **Управление.** Система автоматически меняет статус оборудования на «Требуется проверки» и удаленно переназначает маршрут робота – не на погрузочную рампу, а в зону технического контроля.

4. **Проактивное действие.** Одновременно система инициирует заявку на субаренду аналогичного оборудования у партнера, чтобы избежать срыва мероприятия.

Обсуждение результатов и перспективы

Ожидаемые эффекты от внедрения предлагаемой технологии:

– повышение точности учета (>99,9%) за счет многократной кросс-валидации данных.

1. Сокращение операционных рисков: предотвращение перегрузок, предикация поломок, минимизация влияния человеческого фактора.

2. Оптимизация ресурсов: динамическая маршрутизация снижает пробег техники на 15–25%; предиктивное ТО сокращает затраты на срочный ремонт.

3. Повышение адаптивности системы учета: возможность работы со смешанными парками оборудования (свое/арендованное).

Технические и экономические вызовы:

– высокая сложность интеграции: необходимость разработки сложных алгоритмов фузии данных и управления ЦД.

Стоимость: внедрение предлагаемой технологии предполагает затраты на развертывание сенсорной сети (RFID, камеры высокого разрешения) и вычислительной инфраструктуры.

Безопасность данных: требуется защита потоков телеметрии и учетных данных от деструктивных внешних воздействий, особенно при работе с активами партнеров.

Направления дальнейших исследований

1. Разработка алгоритмов фузии данных: применение графовых нейросетей (GNN) для моделирования взаимосвязей между событиями от разных сенсоров.

2. Легкие модели модуля компьютерного зрения для edge-устройств: создание нейросетей, способных работать в реальном времени на бортовых компьютерах роботов.

3. Блокчейн для учета субаренды: исследование применения распределенных реестров для неизменяемого и доверенного учета операций с временными ЦД и финансовых расчетов между компаниями.

4. Симуляция на основе ЦД: создание цифрового полигона (Digital Twin of the Warehouse) для тестирования логистических сценариев, обучения ИИ и оценки эффективности перед физическим внедрением.

Заключение

В работе предложена и теоретически обоснована архитектура киберфизической системы для удаленного управления складской логистикой. Ее ключевым отличием является системная интеграция четырех технологических пластов (RFID, тензометрия, компьютерное зрение, детализированные модели данных) на основе концепции адаптивного цифрового двойника и мультисенсорной фузии данных в реальном времени.

Предложенное решение позволяет преодолеть принципиальные ограничения существующих изолированных систем, обеспечивая полную наблюдаемость процессов, предиктивный контроль и адаптивное управление для разного оборудования, включая сложный сценарий учета субаренованного оборудования. Архитектура формирует фундамент для создания следующего поколения интеллектуальных складских комплексов, способных гибко адаптироваться к динамичным требованиям рынка и минимизировать операционные риски за счет глубокой интеграции физических и цифровых компонентов.

Источники

1. Морозов А.Б., Безгоднов А.А. Внедрение технологии измерения веса в роботах платформенного типа. 2025.
2. Морозов А.Б., Безгоднов А.А. RFID анализ товара на складе: ворота и тележки. 2024.
3. Lee E.A. Cyber Physical Systems: Design Challenges, 2008.
4. Grieves M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. 2015.
5. Khaleghi B., et al. Multisensor data fusion: A review of the state-of-the-art. 2013.

References

1. Morozov, A.B., Bezgodov, A.A. Implementation of Weight Measurement Technology in Platform-Type Robots. 2025.
2. Morozov, A.B., Bezgodov, A.A. RFID Analysis of Warehouse Goods: Gates and Carts. 2024.
3. Lee, E.A. Cyber Physical Systems: Design Challenges, 2008.
4. Grieves, M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. 2015.
5. Khaleghi, B., et al. Multisensor Data Fusion: A Review of the State of the Art. 2013.



УДК 330.131.7

Параметрическая модель управления рисками трансфера технологий

В.А. Дзедик,

*д-р экон. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет»;
г. Волгоград*

М.Ф. Федорчук,

*мл. науч. сотр., ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет»;
г. Волгоград
e-mail: chesheva@volsu.ru*

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-28-00855, <https://rscf.ru/project/25-28-00855/>

Аннотация. В данной статье приведена разработка расчета интегральной оценки рисков, обеспечивающего описание непрерывного характера воздействия дефицита на производственные процессы предприятия с учетом динамики изменения во времени и по спектру компонентов. Разработанный подход обеспечивает систематизированное описание рисков и формирование превентивных мер для стратегических отраслей.

Ключевые слова: трансфер технологий, автомобильная промышленность, оценка рисков, управление, дефицит.

Summary. This article presents the development of an integrated risk assessment calculation that provides a description of the continuous nature of the impact of scarcity on the company's production processes, taking into account the dynamics of change over time and across the spectrum of components. The developed approach provides a systematic description of risks and the formation of preventive measures for strategic industries.

Keywords: technology transfer, automotive industry, risk assessment, management, scarcity.

Введение

Проблема обеспечения устойчивости технологического трансфера в контексте импортоза-

мещения требует переосмысления традиционной парадигмы управления производственными системами, ориентированной преимущественно на статические и дискретные представления о потоках ресурсов и знаний. В классическом понимании трансфер технологий трактуется как поэтапная передача знаний, компетенций и производственных решений между организациями или внутри корпоративных структур, без учета непрерывного характера сопутствующих рисков и уязвимостей цепей поставок. Однако в условиях импортозамещения данный процесс трансформируется в форму интегрированного управления совокупностью рисков, возникающих при переходе от импортных технологических решений к отечественным аналогам, включая риски дефицита критически важных компонентов, нарушения регламентов производства, снижения качества и сбоя логистических цепочек. В этих условиях трансфер технологий должен рассматриваться как непрерывный, параметризуемый процесс, обеспечивающий поддержание целостности и бесперебойной работы производственных систем за счет проактивной идентификации, количественной оценки и мониторинга рисков на всех стадиях жизненного цикла продукции [1–3].

Структурно-функциональное моделирование производственных архитектур

В целях углубленного анализа, количественной и качественной оценки степени критичности компонентов, а также верификации уровня риска дефицита, обусловленного потенциальными разрывами в логистических цепочках поставок автомобильных узлов, была разработана трехмерная компьютерная модель производственно-логистической устойчивости. Модель реализована для двух ключевых сборочных узлов автомобиля (рис. 1 и 2) и базируется на принципах систематизированной цветовой классификации конструктивных элементов в зависимости от их функциональной значимости и импортозависимости:

– красная зона – представляет критическую ситуацию, характеризующуюся полным отсутствием производства необходимых компонентов на территории Российской Федерации;

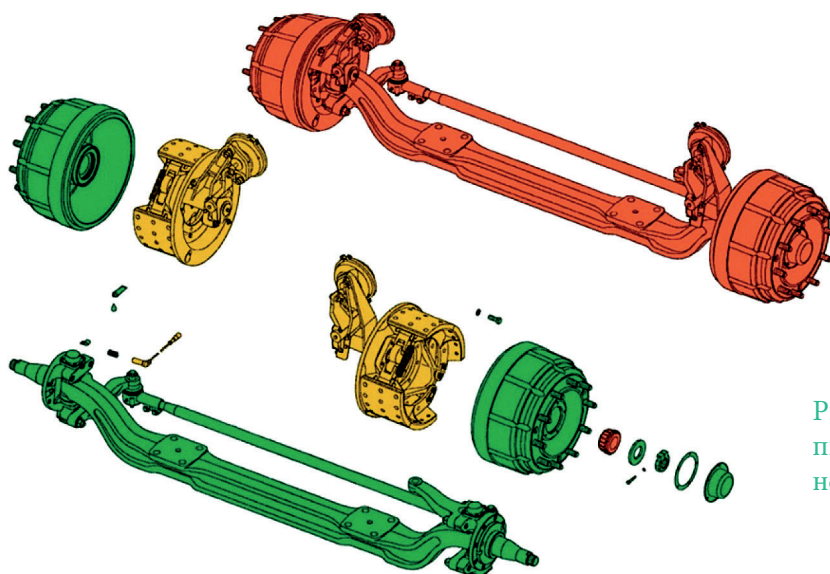


Рисунок 1. Трехмерная компьютерная модель оси передней с тормозами

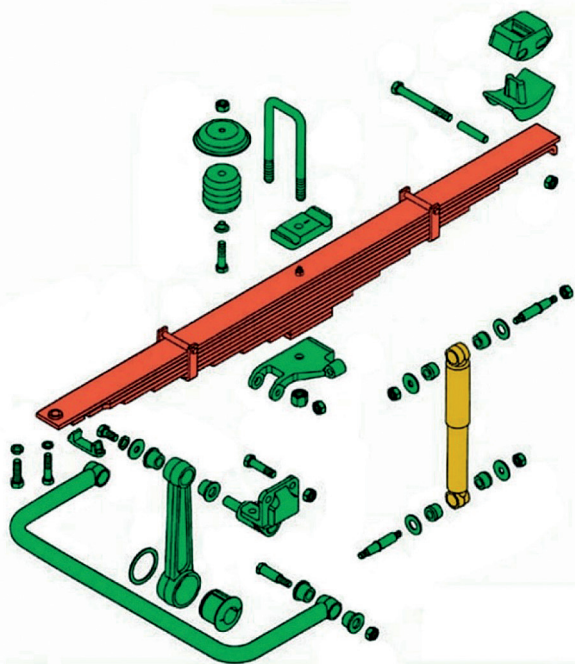


Рисунок 2. Трехмерная компьютерная модель подвески

– зеленая зона – характеризуется ограниченным количеством поставщиков компонентов, что создает условия для возникновения уязвимостей в системе производственной цепочки поставок;

– желтая зона – отражает благополучное состояние цепей поставок, где обеспечена диверсификация источников комплектующих и гарантирована устойчивость производственного цикла.

Визуализация результатов моделирования позволяет наглядно идентифицировать критические точки в структуре поставок. Анализ трехмерных проекций демонстрирует, что отсутствие даже единичного компонента (красная зона), характе-

ризующегося высоким уровнем логистических или геополитических рисков, способна инициировать каскадный эффект, приводящий к дестабилизации и последующему нарушению целостности сборочного процесса всего узла. Данный вывод подтверждает нелинейный характер зависимости между доступностью отдельных элементов и устойчивостью производственной системы в целом, обосновывая необходимость применения предиктивных аналитических инструментов для формирования интегрального управления рисками, обеспечивающего комплексное воздействие на выявленные уязвимости.

Параметрические показатели управления рисками

При анализе основ управления рисками в цепях поставок автомобильной промышленности выявлена необходимость создания строгой количественной методологии для обеспечения объективности и воспроизводимости оценки уровня риска на всех иерархических уровнях логистической сети. Методика количественной оценки рисков строится на двух фундаментальных научных парадигмах – теории вероятностей и классической математической статистики, которые представляют собой формализованный математический аппарат для работы с вероятностными моделями и системного анализа случайных явлений [4].

Классическое определение риска в стандартизированной системе менеджмента риска, регламентированное международными стандартами

ISO 31000, опирается на фундаментальное и универсальное соотношение между вероятностью наступления рискового события и величиной его



возможных последствий. Данное определение является универсальным и применимым к системам различной природы – от технических и организационных систем до систем управления и экономических систем.

$$R=P \times L,$$

Где P – вероятность наступления рискового события в определенный период времени;

L – величина последствия в случае наступления события.

В контексте управления цепями поставок автомобильного производства классическое определение риска адаптировано как произведение вероятности недоступности компонента, характеризующей показателем вероятность дефицита, на совокупную меру последствий отказа, включающую критичность компонента для функционирования системы.

$$R_{\text{деф}} = P_{\text{деф}} \times C,$$

где $P_{\text{деф}}$ – вероятность дефицита компонента;

C – показатель критичности последствия отказа компонента.

Уровень вероятности дефицита ($P_{\text{деф}}$) компонента представляет собой объективную меру доли импортных источников в общей структуре поставок и является ключевым в контексте стратегического управления цепями поставок, особенно в условиях растущей волатильности глобальной торговли.

Вероятность дефицита определяется как вероятность и масштаб потенциального нарушения непрерывности и надежности производственного процесса, обусловленного снижением доступности импортных поставок или полным прерыванием поставок из иностранных источников.

В математическом представлении вероятность дефицита может быть выражена через удельную долю концентрации источников поставок:

$$P_{\text{деф}} = \frac{Q_{\text{имп},i}}{Q_j},$$

где $Q_{\text{имп},i}$ – объем импортных поставок компонента i в анализируемый период времени;

Q_j – общий объем поставок компонента из всех источников (внутренних и внешних).

Показатель критичности компонента (C) в цепях поставок автомобильного производства определяется как степень влияния отказа или недостачи этого компонента на функциональность и безопасность автомобиля.

Автомобильные компоненты могут быть классифицированы по следующим уровням:

- критичный компонент – компонент, влияющий на безопасность;
- компонент средней критичности – компонент, влияющий на функциональность;

– некритичный компонент – компонент, который не имеет влияния на функциональность и безопасность.

В математическом виде уровень критичности компонента определяется как взвешенная комбинация показателей влияния на безопасность и функциональность:

$$C_i = w_s \cdot S_i + w_f \cdot F_i$$

где S_i – показатель влияния компонента на безопасность системы (значение на интервале $[0, 1]$);

F_i – показатель влияния компонента на функциональность системы (значение на интервале $[0, 1]$);

w_s, w_f – весовые коэффициенты, нормализованные условием $w_s + w_f = 1$.

Показатель влияния на безопасность (S_i) оценивает потенциальный вред, который может быть причинен пользователям автомобиля в случае отказа компонента, а показатель влияния на функциональность (F_i) оценивает степень, в которой отказ или недостача компонента влияет на основные функции автомобиля, не связанные непосредственно с безопасностью, однако существенно влияющие на возможность эксплуатации транспортного средства.

Ввиду вышеизложенного, формула риска дефицита преобразовывается в следующий вид:

$$R_{\text{деф}} = P_{\text{деф}} \times (w_s \cdot S_i + w_f \cdot F_i).$$

Однако для полноты представления непрерывного характера воздействия дефицита на производственную систему, которая будет учитывать изменение риска во времени и по спектру компонентов, предлагается расширенная форма интегральной оценки рисков: интегральный риск дефицита за заданный временной период t определяется как суммарный накопленный риск за весь анализируемый интервал времени:

$$IR_t = \int_0^t P_{\text{деф}}(t) \times E[C(t)] dt,$$

где:

$P(t)$ – функция вероятности дефицита во времени;

$E[C(t)]$ – функция математического ожидания совокупных последствий во времени;

t – время (кварталы, месяцы, годы);

dt – дифференциал временного интервала.

Для предприятий с множеством компонентов определение интегрального риска дефицита может быть представлено в виде

$$IR = \sum_{i=1}^n \int_0^t P_i(t) \times E[C_i(t)] dt$$

где i – индекс компонента (от 1 до n);

n – общее количество критических компонентов;

di – дифференциал по номеру компонента;

$Pi(t)$ – вероятность дефицита для i -го компонента;

$E[Ci(t)]$ – математическое ожидание последствий для i -го компонента.

Представленные параметрические зависимости и интегральная модель оценки риска дефицита формируют аналитический базис для перехода от теоретического описания уязвимостей к практическому инструментарию поддержки принятия решений. Количественные показатели вероятности дефицита и критичности компонентов позволяют не только идентифицировать наиболее проблемные звенья в цепях поставок, но и ранжировать их по степени влияния на устойчивость производственного цикла. Использование непрерывных функций времени и суммирование по компонентам обеспечивает возможность динамического мониторинга рисков и своевременной корректировки стратегий импортозамещения. Таким образом, разработанная методология создает предпосылки для внедрения риск-ориентированного управления в практику предприятий автомобильной промышленности в соответствии с требованиями современных стандартов.

Соответствие требованиям ГОСТ Р 58139–2024

Предложенная параметрическая система оценки рисков дефицита полностью согласуется с требованиями национального стандарта ГОСТ Р 58139–2024, регламентирующего системы менеджмента качества в автомобильной промышленности. Стандарт требует применения риск-ориентированного мышления при управлении цепями поставок, включая идентификацию, оценку и мониторинг рисков, связанных с доступностью критических компонентов.

В соответствии с разделом 6 ГОСТ Р 58139, организации должны осуществлять управление рисками в цепочке поставок, включая анализ рисков, связанных:

- с перебоями в поставках;
- остановками производства;
- дефицитом мощностей у поставщиков.

Разработанный интегральный показатель IR позволяет количественно оценивать данные риски и формировать обоснованные управленческие решения.

Заключение

Разработанная параметрическая система интегральной оценки риска, включающая структурированные компоненты: вероятность дефицита, риск критичности компонентов (компонента последствий отказа компонента) и интегральная

угроза прерывания поставок – представляет собой методологическую основу для формирования аналитического инструментария управления устойчивостью технологического трансфера в цепях поставок автомобильного производства.

Применение данной параметрической системы позволяет объективно и воспроизводимо оценивать риски на всех уровнях логистической иерархии на основе количественных показателей, а не субъективных мнений; систематически идентифицировать критические точки в цепи поставок и компоненты, требующие особого внимания и управления; обоснованно принимать управленческие решения по снижению рисков и повышению устойчивости на основе объективных данных и расчетов; эффективно распределять организационные и финансовые ресурсы при реализации мероприятий по управлению рисками; предотвращать прерывания производства и потери функциональности, обеспечивая непрерывность производственного процесса; обеспечивать соответствие требованиям стандартов ГОСТ Р 58139–2024 по риск-ориентированному управлению цепями поставок.

Источники

1. Chursin A., Boginsky A., Drogovoz P., et al. Development of a Mechanism for Assessing Mutual Structural Relations for Import Substitution of High-Tech Transfer in Life Cycle Management of Fundamentally New Products // Sustainability (Switzerland). 2024. Vol. 16. No. 1912.
2. Дли М.И., Булыгина О.В., Малевич Е.П., Яшин Е.С. Инструменты государственного управления рисками инновационных проектов импортозамещения. Путеводитель предпринимателя. 2024;17(4):103–109.
3. Дзедик В.А., Джикия А.А., Усачева И.В., Демидова А.В. Формирование модели устойчивой системы импортозамещения // Стандарты и качество. 2025. № 5. С. 26–29.
4. Чернова Н.И. Теория вероятностей: Учеб. пособие / СибГУТИ. Новосибирск, 2009. 128 с.

References

1. Chursin A., Boginsky A., Drogovoz P., et al. Development of a Mechanism for Assessing Mutual Structural Relations for Import Substitution of High-Tech Transfer in Life Cycle Management of Fundamentally New Products // Sustainability (Switzerland). 2024. Vol. 16. No. 1912.
2. Dli M.I., Bulygina O.V., Malevich E.P., Yashin E.S. Instruments of state risk management of innovative import substitution projects. Entrepreneur's Guide. 2024;17(4):103–109.
3. Dzedik V.A., Dzhikiya A.A., Usacheva I.V., Demidova A.V. Formation of a model of a sustainable import substitution system / V. A. Dzedik, // Standards and quality. 2025. N 5. P. 26–29.
4. Chernova N.I. Probability Theory: A textbook / SibGUTI. Novosibirsk, 2009. 128 p.



Децентрализованное управление промышленными роботами на основе псевдоразвязанных уравнений движения

Е.В. Поезжаева,

канд. техн. наук, профессор,
ФГАОУ ВО ПНИПУ; г. Пермь

Е.С. Михайловская,

студент ФГАОУ ВО ПНИПУ; г. Пермь

А.Е. Аверкина,

студент ФГАОУ ВО ПНИПУ; г. Пермь

Е.С. Трясцын,

студент ФГАОУ ВО ПНИПУ; г. Пермь

Н.Н. Кучев,

студент ФГАОУ ВО ПНИПУ; г. Пермь

Аннотация. В статье рассматривается подход к динамическому адаптивному управлению промышленными роботами, основанный на методе вычисления моментов приводов с использованием обратной связи. Предлагаемый алгоритм использует псевдоразвязанную форму уравнений движения, в которой учитываются только диагональные элементы матрицы инерции, а все остальные динамические составляющие (силы Кориолиса, центробежные силы) трактуются как внешние возмущения. Это позволяет достичь полной развязки замкнутой системы и децентрализации управления для каждой степени подвижности. Ключевым преимуществом метода является значительное снижение вычислительной нагрузки в реальном времени при сохранении требуемой точности и устойчивости.

Ключевые слова: динамическое управление, адаптивное управление, промышленные роботы, уравнения движения, обратная связь, псевдоразвязанная форма, развязка систем, вычисление моментов, управление в реальном времени, устойчивость.

Summary. The article discusses an approach to dynamic adaptive control of industrial robots based on the method of calculating drive moments using feedback. The proposed algorithm uses a pseudo-unified form of motion equations, in which only diagonal elements of the inertia matrix are taken into account, and all other dynamic components (Coriolis forces, centrifugal forces) are treated as external disturbances. This allows for complete decoupling of the closed system and decentralization of control for each degree of freedom. The key advantage of this method is a significant reduction in real-time computational load while maintaining the required accuracy and stability.

Keywords: dynamic control, adaptive control, industrial robots, motion equations, feedback, pseudo-uncoupled form, system decoupling, moment calculation, real-time control, and stability.

С самого начала развития робототехники внимание разработчиков сосредоточилось на задачах управления с обратной связью, что подразумевает определение законов управления приводами при заданных траектории движения, скоростях и ускорениях. К этому же кругу проблем примыкает задача построения точных или приближенных дифференциальных уравнений движения. Что касается отслеживания заданной траектории, то оно принадлежит к числу в основном решенных современной теорией управления задач, причем известно множество методов решения.

Первый из таких методов, связанный с использованием ПД или ПИД – регуляторов (чаще всего с компенсацией изменяющихся инерционных сил), не учитывает сильной взаимной связи степеней подвижности робота. То же относится и к методам стандартной линеаризации модели.

На более новые результаты теории опираются методы оптимального по времени управления. Если ПЛ и ПИД-регуляторы были успешно реализованы в аналоговом и цифровом вариантах, то методы оптимизации остаются пока только теоретическими.

Это обусловлено их высокой чувствительностью к изменению параметров модели и помехам, а также необходимостью затрат значительных вычислительных ресурсов в реальном времени.

Метод нелинейной развязки требует точного знания модели динамики робота, но позволяет получить полностью развязанный линейный контур управления, которому можно придать желаемые динамические свойства с помощью метода распределения полюсов. Необходимый объем вычислений в реальном времени для этого метода на современном уровне микропроцессорной техники представляется достижимым, но полностью устранить неопределенность модели не удастся.

Основой метода определения моментов приводов является представление этих моментов в виде функций заданного движения в форме траекторий отдельных степеней подвижности робота, их скоростей и ускорений. Здесь, однако, приходится решать полное или упрощенное уравнение динамики робота. Методы адаптивного и робастного управления в смысле требований к точности модели предпочтительнее, но затраты вычислительных ресурсов в реальном времени для них по-прежнему велики.

Эти затраты оказываются еще более значительными при реализации метода управления в рабочем пространстве. Если учесть и потребность в специальных датчиках, такой метод оказывается пока малоприменимым для управления роботами.

Излагаемый ниже подход основан на методе определения моментов с использованием обратной связи по переменным состояния (положению и скорости степеней подвижности). Уравнения движения робота задаются в псевдоразвязанной форме. В этом случае используются только элементы главной диагонали матрицы инерции, а все остальные элементы, включая силы инерции, силы Кориолиса и центробежные силы, рассматриваются как внешние возмущения. Преимуществом рассматриваемого алгоритма управления является полная развязка замкнутой системы, децентрализация отдельных следящих приводов для каждой степени подвижности и небольшие затраты вычислительных ресурсов в реальном времени.

$$A(\vec{q}(t))\ddot{\vec{q}}(t) + \vec{b}\left(\vec{q}(t), \dot{\vec{q}}(t)\right) + \vec{c}(\vec{q}(t)) = \vec{u}(t) \quad (1)$$

Постановка задачи

Уравнение движения промышленного робота имеет вид:

$$\ddot{\vec{q}}(t) = \ddot{\vec{q}}, \quad \dot{\vec{q}}(0) = \dot{\vec{q}},$$

где все $\vec{q}$ – n -мерные векторы обобщенных переменных состояния, включая скорости и ускорения,

A – обобщенная матрица инерции размерности $n \times n$, положительно-определенная и симметрическая внутри рабочего пространства Q , $\vec{b}$ – n -мерный вектор кориолисовых и центробежных сил, $\vec{c}$ – n -мерный вектор потенциальных сил, $\vec{u}$ – вектор моментов приводов $i, j \in \overline{1, n}$, n – число степеней подвижности ($n > 1$).

Выше для простоты аргументы опущены. Функции a_{ij} и c_i гладкие. Они содержат постоянные члены и тригонометрические функции переменных состояния. Функции b_i также гладкие, квадратичные относительно q . Кроме того, они ограничены из физических граничных условий для скоростей ($i, j \in \overline{1, n}$).

Уравнение (1) может быть записано в следующей псевдоразвязанной форме:

$$\ddot{\vec{q}} = D^{-1}\vec{u} - \vec{w}, \quad (2)$$

где:

$$\begin{aligned} D &= [d_{ij}] = \text{diag } A, \\ \vec{w} &= D^{-1}(\vec{b} + N\ddot{\vec{q}}), \\ N &= [n_{ij}] = A - D. \end{aligned} \quad (3)$$

В уравнении (3) матрица D положительно определена и несингулярна, а элементы главной диагонали матрицы N являются нулями, то есть $n_{ii} = 0 (i \in \overline{1, n})$.

В дальнейшем приняты следующие допущения.

A1. Координаты степеней подвижности, скорости и ускорения измеримы, и соответствующие датчики измеряют точные значения.

A2. Динамикой приводов можно пренебречь по сравнению с механической частью системы.

A3. Моменты приводов неограничены, другими словами, при корректной постановке задачи управления ограничения по моментам не достигаются.

При цифровом управлении интервал дискретизации Δt считается достаточно малым.

Итак, задана некоторая достаточно гладкая траектория в Q и требуется определить управление $\vec{u}$, которое стабилизирует динамику робота согласно уравнениям (1) и (2), а также приводит к совпадению фактической траектории – решения уравнения (1) – с заданной.

Предлагаемый подход к решению задачи управления отличается от известных тем, что при переменных параметрах модели он позволяет уменьшить объем используемой в контуре обратной связи информации и построить вычислитель с приемлемым объемом обработки в реальном времени.

Рассмотрим для простоты непрерывную модель (2) с непрерывным по времени управлением:



$$\ddot{u} = D \left(\hat{\ddot{q}} \dot{l} + K_d \left(\ddot{q} \dot{l} - \ddot{q} \right) + K_p \left(\ddot{q} \dot{l} - \ddot{q} \right) \right) + \ddot{v} \quad (4)$$

где:

$$K_d = \text{diag}(k_{d1}, \dots, k_{dn}), K_p = \text{diag}(k_{p1}, \dots, k_{pn}),$$

то есть постоянные матрицы обратной связи с положительными диагональными элементами, а $\ddot{v} - n$ -мерный вектор, определяемый ниже. Подставляя (4) в (2), получим для замкнутой системы управления.

$$\ddot{e} + K_d \ddot{e} + K_p \ddot{e} = \ddot{w} - D^{-1} \ddot{v}, \quad (5)$$

при этом:

$$\ddot{e} = \ddot{q} - \ddot{q}.$$

Соответствующие матрицы в (4) выбираются так, чтобы система была асимптотически устойчива. Алгоритм решения поставленной выше задачи требует детального знания динамики робота (1) и реализации на мощной ЭВМ. Однако подробный анализ уравнения (3) показывает, что члены $\ddot{w}_i$ зависят от $\ddot{q}_i$ и $\ddot{q}_i$, но не от $\ddot{q}_i$, пока $n_{ii}=0 (i \in \overline{1, n})$. При этом упомянутые члены можно рассматривать как внешние возмущения $w_{(i)}$, влияние которых можно скомпенсировать членом $D^{-1} \ddot{v}$ до некоторого минимума, конечно, за счет использования некоторых дополнительных вычислительных ресурсов. Член $D^{-1} \ddot{v}$ определяется ниже.

Алгоритм

В уравнения (2) и (4) следует подставить соответствующие дискретизованные переменные:

$$\ddot{q}_{k+2} - 2\ddot{q}_{k+1} + \ddot{q}_k = D_k^{-1} \ddot{u}_k - \ddot{w}_k, \quad (2')$$

$$\ddot{u}_k = D_k \left(\ddot{u}_{k-1} - D_k \ddot{q}_k + \ddot{q}_{k+2} \dot{l} - \ddot{K}_d \ddot{q}_{k+1} \dot{l} + \ddot{K}_p \ddot{q}_k - \ddot{K}_d \ddot{q}_{k+1} + (\ddot{K}_d - \ddot{K}_p) \ddot{q}_k \right), \quad (4')$$

где:

$$\ddot{K}_d = -(2I_n - \ddot{K}_d), \quad \ddot{K}_p = I_n - \ddot{K}_d + \ddot{K}_p,$$

а $I_n (n \times n)$ – мерная единичная матрица (индекс k относится к дискретному времени ($t = k\Delta t$)).

Здесь использована подстановка:

$$\ddot{x} \sim (\ddot{x}_{k+1} - \ddot{x}_k) / \Delta t$$

и принято $\Delta t = 1$ (это соотношение является лишь масштабным и не создает дополнительного ограничения).

Так как $\ddot{q}_{(k)}, \ddot{q}_{(k)}$ являются непосредственно измеряемыми, а их заданные значения определяются блоком планирования траекторий, расчет управления в реальном времени лучше вести по следующей формуле:

$$\ddot{u}_k = D_k \left(\ddot{q}_{(k)} \dot{l} + K_d \left(\ddot{q}_{(k)} \dot{l} - \ddot{q}_{(k)} \right) + K_p \left(\ddot{q}_{(k)} \dot{l} - \ddot{q}_{(k)} \right) \right) + \ddot{u}_{k-1} - D_k \ddot{q}_k. \quad (4'')$$

В уравнение (4) вместо $\ddot{v}_k$ подставляется выражение $\ddot{u}_{k-1} - D_k \ddot{q}_k$. За счет этого вводится интегральная компонента в управление, что позволяет компенсировать влияние внешних возмущений $\ddot{w}_k$ в замкнутом контуре регулирования.

Из уравнений (2) и (4) непосредственно следует:

$$\ddot{e}_{k+2} + \ddot{K}_d \ddot{e}_{k+1} + \ddot{K}_p \ddot{e}_k = \ddot{w}_k - D_k^{-1} \ddot{u}_{k-1} + \ddot{q}_k. \quad (5')$$

За счет выбора матриц обратной связи $\ddot{K}_d$ и $\ddot{K}_p$ систему (5') можно стабилизировать и придать ей определенные динамические свойства.

Рассмотренный алгоритм обладает рядом достоинств. Во-первых, полученная система является развязанной и ею можно управлять с помощью децентрализованного многопроцессорного регулятора. Во-вторых, обеспечивается требуемая динамика при небольших затратах вычислительных ресурсов: необходимо вычисление элементов a_{ii} плюс 4 операции умножения и 6 операций сложения в реальном времени на каждую степень подвижности.

Анализ устойчивости замкнутой системы управления (5) начинается с выбора корректирующего члена $\ddot{v}$. Согласно вышесказанному можно записать:

$$\ddot{v}_k = D_k^{-1} \left(\ddot{u}_{k-1} - D_k \ddot{q}_k \right),$$

$$\text{то есть } \ddot{v}_k = D_k^{-1} \ddot{w}_{k-1}.$$

Предполагая компенсировать внешние возмущения, можно считать, что функция $D\ddot{w}$ является достаточно гладкой.

Требуемые движения степеней подвижности, а также скорости ускорения задаются как непрерывные функции времени, причем связь фактических ускорений отдельных степеней подвижности определяется уравнением (2), а непрерывность координаты и ее первой производной следует из теоремы существования и единственности решения системы (рис. 1). Непрерывность $D\ddot{w}$ следует из (рис. 2).

На основании равномерной непрерывности функции $D\ddot{w}$ интервал измерения может быть выбран так, чтобы приращение этой функции было меньше любой наперед заданной величины. При этом системе (5) с $\ddot{w} - \ddot{v} = \ddot{f}$ для

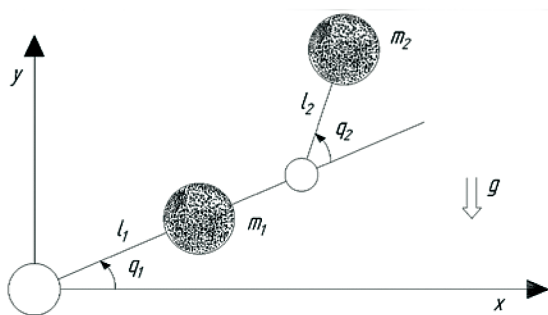


Рисунок 1

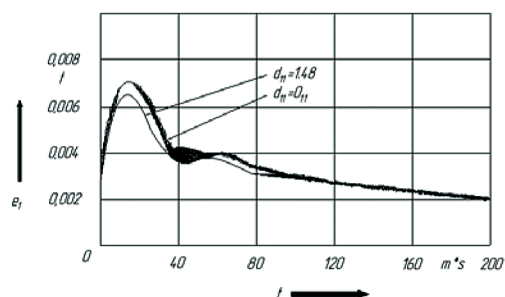


Рисунок 2

$\|f\| < M, \|K_d\| + \|K_p\| \neq B$ but $t \in [t_f - t_0]$ имеет оцен-

ку сверху $\|\tilde{e}\| \leq \left(\frac{M}{B \exp(B(t_f - t_0))} \right)$.

Пример. Метод иллюстрируется на примере двухзвенного манипулятора с перемещениями в вертикальной плоскости (см. рис. 1). Дифференциальные уравнения движения имеют вид:

$$\begin{aligned} (m_2 l_2^2 + 2m_2 l_1 l_2 c_2 + m_1 l_1^2) \ddot{q}_1 + (m_2 l_2^2 + 2m_2 l_1 l_2 c_2) \ddot{q}_2 \\ - m_2 l_1 l_2 s_2 \dot{q}_2^2 - 2m_2 l_1 l_2 s_2 \dot{q}_1 \dot{q}_2 + (m_2 l_2 c_{12} + m_1 l_1 c_1) g = u_1, \\ (m_2 l_2^2 + m_2 l_1 l_2 c_2) \ddot{q}_1 + m_2 l_2^2 \ddot{q}_2 + m_2 l_1 l_2 s_2 \dot{q}_1^2 \dot{s}_2 \\ + m_2 l_2 c_{12} g = u_2. \end{aligned}$$

Здесь

$$m_{12} = m_1 + m_2, l_{12} = l_1 l_2, s_1 = \sin(q_1),$$

$$c_i = \cos(q_i), c_{12} = \cos(q_1 + q_2),$$

g – ускорение силы тяжести.

Примем следующие численные значения:

$$m_1 = 1 \text{ kg}, m_2 = 0,5 \text{ kg}, l_1 = 0,8 \text{ m}, l_2 = 0,2 \text{ m}$$

и зададим траектории движения в виде:

$$q_1(t) = q_1^f (1 - \exp(-t)), q_1^0 = 0, q_1^f = 1,$$

$$q_2(t) = q_2^f (1 - \exp(-2t)), q_2^0 = 0, q_2^f = 2.$$

На рис. 2 показаны результаты цифрового моделирования ошибки $e_1(t)$ (поведение $e_2(t)$ аналогично). Первый цикл моделирования выполнялся для анализа чувствительности замкнутой системы к изменению параметров. Значение a_{11} как функции q_2 задавалось в пределах от 0,98 до 1,98, так что d_{11} в управлении (4) соответствовало средней величине. При значениях $k_{d1} = 40$ и $k_{p1} = 400$ абсолютная ошибка составила менее 6%, причем обеспечивалась «грубость» замкнутой системы.

Использованные источники

1. Багров В.В. Алгоритмы управления роботами-манипуляторами в условиях неопределенности

// Энергетика, управление и автоматизация: инновационные решения проблем: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей. Санкт-Петербург, 16 декабря 2024 г. [Электронный ресурс]. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2025. С. 160–167. EDN MWBGJ. URL: https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D83005389

2. Антонов А.С. Разработка программно-аппаратного комплекса для управления роботом-манипулятором с применением нейронных сетей // Мавлютовские чтения: Материалы XVIII Всероссийской молодежной научной конференции: В 9 т. Уфа, 25–29 ноября 2024 г. [Электронный ресурс]. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2024. С. 691–694. EDN CMVQRL. URL: https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D27510333

3. Гудым А.В., Соколов А.П. Моделирование роботов-манипуляторов с открытой и замкнутой кинематикой // Комплексная автоматизация проектирования и производства (КАПП-2024): Материалы конференции Вторая научно-практическая конференция (с международным участием). Москва, 1 ноября 2024 г. [Электронный ресурс]. М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2025. С. 38–42. EDN CEZNAH. URL: https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D82295658

4. Виноградов Г.Н., Мухаметшин А.И. Разработка 6-осевого робота-манипулятора // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VII Национальной научно-практической конференции. Казань, 9–10 декабря 2021 г. [Электронный ресурс].



Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. С. 30–32. EDN RCDVRM. URL: https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D50096406

5. Мастеров А.П., Зенин А.В. Аппаратное обеспечение оси робота-манипулятора // Актуальные исследования и инновации в науке и технике: Сб. статей III Международной научно-практической конференции. Москва, 14 мая 2025 г. М.: Цифровое научное издательство, 2025. С. 111–129. EDN INAMFZ [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-promyshlennogo-robota-manipulyatora-dlya-spetsialnyh-tseley>

6. Демьянов П.А., Лукьянова А.В. Роботы-манипуляторы и их разновидности // X Международная научно-практическая заочная конференция «ЭТАП-2023», посвященная 219-летию КФУ. Набережные Челны, 23 ноября 2023 г. [Электронный ресурс]. Набережные Челны: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2024. С. 478–484. EDN JMVXAN. URL: https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D65511582

7. Андреев М.Д. Классификация роботов-манипуляторов [Электронный ресурс]. Юный ученый. 2022. № 2(54). С. 48–51. EDN EBKMFJ. URL: https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fedn%3Debkmfj

References

1. Bagrov V.V. Algorithms for controlling robotic manipulators in conditions of uncertainty / V.V. Bagrov // Energy, control and automation: innovative solutions to problems : Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference of Students and Teachers, St. Petersburg, December 16, 2024. – Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 2025. – pp. 160-167. – EDN MWBVGJ. [Electronic resource] – URL: https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D83005389 (accessed 12/12/2025)

2. Antonov A.S. Development of a software and hardware complex for controlling a robot manipulator using neural networks. Antonov // Mavlyutov readings: Proceedings of the XVIII All-Russian Youth Scientific Conference. In 9 volumes, Ufa, November 25-29, 2024. Ufa: Ufa University of Science and Technology, 2024. pp. 691-694. EDN CMVQRL. [Electronic resource] – URL: https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D27510333 (accessed 12/12/2025)

3. Gudym A.V. Modeling of robotic manipulators with open and closed kinematics / A.V. Gudym, A.P. Sokolov // Integrated automation of design and production (KAPP-2024) : Conference proceedings Second scientific and practical conference (with international participation), Moscow, November 01, 2024. Moscow: Bauman Moscow State Technical University (National Research University), 2025. pp. 38-42. – EDN CEZNAH. [Electronic resource] – URL: https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D82295658 (accessed 12/12/2025)

4. Vinogradov G.N. Development of a 6-axis robot manipulator / G.N. Vinogradov, A.I. Mukhametshin // Instrumentation and automated electric drive in the fuel and energy complex and housing and communal services : Proceedings of the VII National Scientific and Practical Conference, Kazan, December 09-10, 2021. Kazan: Kazan State Power Engineering University, 2022. pp. 30-32. EDN RCDVRM. [Electronic resource] – URL: https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D50096406 (accessed 12/12/2025)

5. Masters A.P. Hardware for the axis of the robot manipulator / A.P. Masters, A.V. Zenin // Current research and innovations in science and technology : Collection of articles of the III International Scientific and Practical Conference, Moscow, May 14, 2025. – Moscow: Digital Scientific Publishing House, 2025. – pp. 111-129. – EDN INAMFZ. [Electronic resource] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-promyshlennogo-robota-manipulyatora-dlya-spetsialnyh-tseley> (accessed 12/12/2025)

6. Demyanov P.A. Robot manipulators and their varieties / P.A. Demyanov, A.V. Lukyanova // X International Scientific and Practical Correspondence Conference “STAGE-2023”, dedicated to the 219th anniversary of the KFU, Naberezhnye Chelny, November 23, 2023. Naberezhnye Chelny: Kazan (Volga Region) Federal University, 2024. pp. 478-484. EDN JMVXAN. [Electronic resource] – URL: https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D65511582 (accessed 12/12/2025)

7. Andreev M.D. Classification of robot manipulators / M.D. Andreev // Young scientist. – 2022. – № 2(54). – Pp. 48-51. – EDN EBKMFJ. https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fedn%3Debkmfj – [Electronic resource] – URL: (accessed 12/12/2025)

Системный анализ рисков сырьевой базы как фактор обеспечения качества продукции высокотехнологичных камнеобрабатывающих предприятий

Е.Ю. Головина,

канд. экон. наук, доцент кафедры «Автоматизации и управления», ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»; г. Иркутск
e-mail: elena_uspeh@mail.ru

А.А. Якубова,

аспирант кафедры «Автоматизации и управления», ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»; г. Иркутск
e-mail: anyuta90796@yandex.ru

С.А. Одинокоев,

д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Управление качеством и сертификация», ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»; Москва
e-mail: odinokovs@mail.ru

А.Е. Пашков,

д-р техн. наук, профессор кафедры «Технологии и оборудования машиностроительных производств», ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»; г. Иркутск
e-mail: pashkov@istu.edu

Аннотация. В условиях цифровизации и автоматизации камнеобрабатывающих производств управление качеством готовой продукции невозможно без идентификации и количественной оценки рисков, заложенных на этапе поступления

сырья. В статье представлен системный анализ геолого-качественных, логистических и технологических рисков для предприятий, оснащенных оборудованием с ЧПУ. Предложена математическая модель оценки уровня риска, базирующаяся на вероятностно-взвешенных показателях и коэффициентах критичности. Выполнено ранжирование рисков с расчетом численных значений по шкале от 1 до 25, а также разработана матрица митигационных мер, интегрируемых в систему менеджмента качества (СМК) согласно ГОСТ Р ИСО 9001–2015. С использованием корреляционного анализа выявлена зависимость между параметрами сырья и процентом брака. Построена диаграмма Парето, идентифицирующая приоритетные виды дефектов. Разработана экономико-математическая модель оптимизации страхового запаса сырья с учетом рисков дефицита и превышения запаса. Представлены тезисы для автореферата диссертации.

Ключевые слова: управление качеством, сырьевая база, камнеобработка, технологические риски, количественная оценка рисков, ЧПУ, организация производства, корреляционный анализ, диаграмма Парето, оптимизация запасов.

Summary. In the context of digitalization and automation of stone-processing industries, it is impossible to manage the quality of finished products without identifying and quantifying the risks inherent in the raw material supply process. This article presents a systematic analysis of geological, quality, logistical, and technological risks for enterprises equipped with CNC equipment. It proposes a mathematical model for assessing risk levels based on probability-weighted indicators and criticality coefficients. The risks were ranked and numerical values were calculated on a scale from 1 to 25, and a matrix of mitigation measures was developed that can be integrated into the quality management system (QMS) in accordance with GOST



R ISO 9001-2015. Correlation analysis was used to identify the relationship between the raw material parameters and the percentage of defects. A Pareto chart was created to identify the priority types of defects. An economic and mathematical model was developed to optimize the safety stock of raw materials, taking into account the risks of shortage and excess.

Keywords: quality management, raw materials, stone processing, technological risks, risk quantification, CNC, production organization, correlation analysis, Pareto chart, inventory optimization.

Введение

Современное высокотехнологичное камнеобрабатывающее предприятие представляет собой сложную производственную систему, включающую многоосевые станки с ЧПУ, линии гидроабразивной резки, автоматизированные системы проектирования (CAD/CAM), роботизированные комплексы контроля качества. Ключевой особенностью таких производств является высокая чувствительность к качеству входного сырья – натурального камня в виде блоков и слэбов [1].

В рамках паспорта специальности 2.5.22 «Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства» особое значение приобретает разработка методов количественной оценки рисков, позволяющих прогнозировать потери качества и принимать обоснованные управленческие решения. Целью настоящего исследования является построение аналитической модели оценки рисков сырьевой базы и их влияния на качество конечной продукции, а также разработка инструментов оптимизации управления запасами с учетом выявленных рисков.

Методология количественной оценки рисков

В основу исследования положен классический метод анализа рисков, адаптированный под специ-

фику камнеобрабатывающей отрасли. Каждый идентифицированный риск оценивается по двум параметрам:

- вероятность возникновения $P \in [1, 5]$;
- тяжесть последствий $I \in [1, 5]$.

Интегральный уровень риска R определяется как произведение:

$$R = P \times I, R \in [1, 25]$$

Градация уровня риска имеет следующие значения:

- $1 \leq R \leq 3$ – низкий (приемлемый);
- $4 \leq R \leq 7$ – умеренный (требует мониторинга);
- $8 \leq R \leq 14$ – средний (требует планирования корректирующих действий);
- $15 \leq R \leq 25$ – высокий (требует немедленного вмешательства).

Авторами предлагается дополнительно ввести коэффициент критичности процесса Kk , учитывающий влияние конкретного этапа производства на конечное качество:

$$Kk = T_{\text{потерь}} / T_{\text{общ}} \times C_{\text{брака}} / C_{\text{изд}},$$

где $T_{\text{потерь}}$ – время простоя оборудования из-за риска, $T_{\text{общ}}$ – общее время производственного цикла, $C_{\text{брака}}$ – стоимость утилизации бракованной продукции, $C_{\text{изд}}$ – стоимость готового изделия.

Далее проведем идентификацию и ранжирование рисков. В табл. 1 представим результаты количественной оценки рисков для типового высокотехнологичного камнеобрабатывающего предприятия.

Анализ табл. 1 подтверждает, что наибольшую угрозу представляют риски, связанные с качеством сырья. При $R \geq 15$ необходима разработка специальных процедур в рамках СМК.

Однако для выработки эффективных управляющих воздействий недостаточно ограничиваться качественной или балльной оценкой рисков. Требуется переход к формализованному описанию зависимости между характеристиками входного

Таблица 1. Матрица количественной оценки рисков

Категория риска	Конкретный риск	P	I	R = P×I	Уровень критичности
Геолого-качественные	Скрытые трещины и неоднородность сырья	4	5	20	Высокий (критический)
Технологические	Поломка ЧПУ-центра	3	5	15	Высокий
Снабженческо-логистические	Срыв поставок блоков	3	5	15	Высокий
Технологические	Непредсказуемая обработка из-за дефектов	4	4	16	Высокий
Рыночные	Волатильность цен на сырье	3	4	12	Средний
Нормативно-правовые	Изменение таможенных пошлин	3	4	12	Средний

сырья, параметрами технологического процесса и итоговыми показателями качества готовой продукции. Решению этой задачи посвящена предлагаемая далее математическая модель, устанавливающая количественную связь между неоднородностью сырья, технологической адаптивностью оборудования и уровнем потерь качества.

Математическая модель влияния сырьевых рисков на качество продукции

Введем функцию потерь качества Q , зависящую от параметров сырья и технологических режимов:

$$Q = \alpha \times \sigma_m + \beta \times 1/\eta + \gamma \times \delta_d,$$

где:

σ_m – среднеквадратическое отклонение физико-механических свойств сырья (твердость, плотность);

η_i – коэффициент технологической пригодности (соответствия) оборудования к данному типу камня;

δ_d – доля скрытых дефектов, выявленных в процессе обработки;

α, β, γ – весовые коэффициенты, определяемые экспертным путем (в данном исследовании $\alpha = 0,5$; $\delta = 0,3$; $\gamma = 0,2$).

На основе экспериментальных данных по партии гранитных блоков ($n = 50$) получены следующие значения:

$\sigma_m = 12,4$ (отклонение твердости по Шору);

$\eta_i = 0,82$;

$\delta_d = 0,15$.

Тогда:

$$Q = 0,5 \times 12,4 + 0,3 \times 1/0,82 + 0,2 \times 0,15 = 6,2 + 0,366 + 0,03 = 6,596.$$

Полученное значение $Q = 6,6$ соответствует среднему уровню потерь качества, что требует оптимизации входного контроля и корректировки режимов обработки.

Полученная функция потерь Q позволяет перейти к более детальному анализу – необходимо выявить, какие именно параметры сырья вносят наибольший вклад в итоговый уровень брака. Для решения этой задачи целесообразно применение методов корреляционного анализа, позволяющих количественно оценить тесноту связи между отдельными характеристиками сырья и долей дефектной продукции.

Для выявления статистически значимых связей между характеристиками сырья и долей бракованной продукции проведен корреляционный анализ по данным 50 производственных партий. Необходимо рассчитать коэффициент парной корреляции Пирсона и для наглядности результаты представить в табл. 2.

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \times \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

Таблица 2. Результаты корреляционного анализа

Параметр сырья (x)	Коэффициент корреляции с долей брака (r)	Теснота связи
Твердость по Шору (отклонение)	0,78	Сильная положительная
Плотность (отклонение)	0,65	Умеренная положительная
Наличие видимых трещин (балл)	0,82	Сильная положительная
Влажность	0,23	Слабая

Таким образом, наиболее сильное влияние на процент брака оказывают наличие скрытых трещин ($r = 0,82$) и нестабильность твердости ($r = 0,78$). Это подтверждает необходимость приоритетного контроля именно этих параметров на входе.

Установленные корреляционные связи указывают на приоритетные направления контроля, однако для эффективного распределения ограниченных ресурсов предприятия необходимо также понимать, какие виды дефектов вносят наибольший вклад в общий объем потерь (табл. 3).

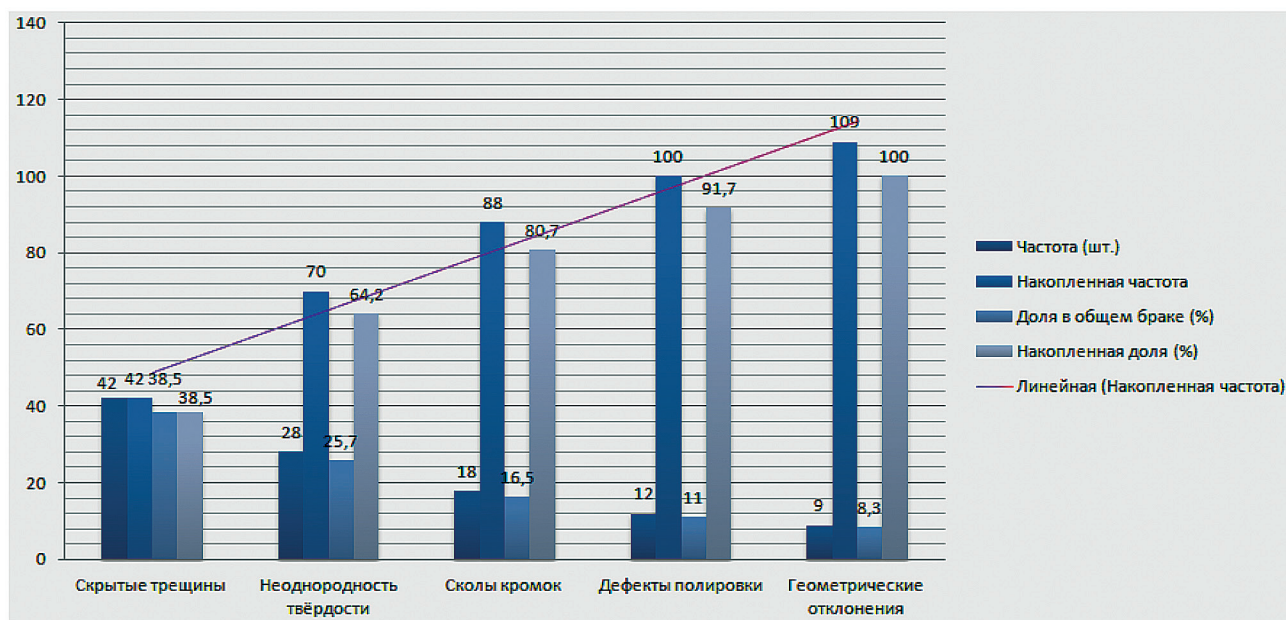
На рисунке представлена диаграмма Парето, позволяющая визуализировать структуру брака и выделить «немногие существенные» причины, для определения приоритетных направлений улучшения качества на основе статистики брака за 6 месяцев [2]. Метод Парето (правило 80/20) позволяет выделить ограниченное число дефектов, обуславливающих основную долю потерь [3].

Анализ показывает, что первые три вида дефектов (скрытые трещины, неоднородность твердости, сколы кромок) составляют 80,7% всех потерь, что полностью соответствует принципу Парето. Следовательно, усилия по управлению качеством должны быть сконцентрированы на предотвращении именно этих дефектов.

Несомненно, фокусировка на приоритетных дефектах позволяет снизить потери качества, однако не менее важным аспектом обеспечения бесперебойности производства является управление доступностью сырья. Дефицит сырья, вызванный логистическими сбоями или рыночными колебаниями, способен полностью остановить производственный процесс. В связи с этим возникает задача оптимизации страховых запасов с учетом выявленных рисков, решаемая методами экономико-математического моделирования.

Таблица 3. Ранжирование видов дефектов

Вид дефекта	Частота, шт.	Накопленная частота	Доля в общем браке, %	Накопленная доля, %
Скрытые трещины	42	42	38,5	38,5
Неоднородность твердости	28	70	25,7	64,2
Сколы кромок	18	88	16,5	80,7
Дефекты полировки	12	100	11,0	91,7
Геометрические отклонения	9	109	8,3	100,0
Итого	109	—	100	—



Ранжирование видов дефектов

Экономико-математическая модель оптимизации запасов сырья с учетом рисков

Управление запасами сырья в условиях неопределенности требует учета двух категорий рисков: риска дефицита и риска превышения максимально допустимого уровня запаса [4]. Авторами разработана оптимизационная модель, базирующаяся на методике оптимизации страхового запаса [5].

Целевая функция – минимизация суммарных ожидаемых затрат, связанных с управлением запасами:

$$C_{\text{общ}}(S) = C_{\text{хр}}(S) + C_{\text{деф}}(S) + C_{\text{зак}}$$

где:

- S – уровень страхового запаса;
- $C_{\text{хр}}(S) = h \times S$ – затраты на хранение (h – удельные затраты на хранение единицы запаса);
- $C_{\text{деф}}(S) = p \times E[D - S]^+$ – ожидаемые потери от дефицита (p – удельные потери при дефиците, DD – случайный спрос);

– $C_{\text{зак}}$ – затраты на размещение заказа (постоянная величина).

Учет рисков сбоев поставок

Вероятность срыва поставки q вводится через модификацию функции распределения времени пополнения запаса [6]. Ожидаемый дефицит рассчитывается с учетом биномиального распределения числа успешных поставок.

Для имитационного моделирования используется метод Монте-Карло, позволяющий генерировать сценарии спроса и сроков поставки с заданными распределениями [7, 8]. В качестве закона распределения спроса принято треугольное распределение, наиболее адекватное в условиях ограниченной статистики [9].

Авторами был проведен численный эксперимент, результаты которого были получены методом обобщенного понижающего градиента (табл. 3) [5].

Исходными данными послужили следующие показатели:

- среднесуточный расход сырья: $\mu = 5 \text{ м}^3/\text{день}$;
- стандартное отклонение спроса: $\sigma = 1,2 \text{ м}^3$;
- время поставки: $T = 10 \pm 3$ дня (треугольное распределение);
- затраты на хранение: $h = 200 \text{ руб/м}^3/\text{день}$;
- потери от дефицита: $p = 5000 \text{ руб/м}^3$;
- вероятность сбоя поставки: $q = 0,15$.

Таблица 4. Результаты оптимизации

Показатель	Без учета рисков	С учетом рисков	Изменение
Оптимальный страховой запас, м^3	12,5	21,3	+70%
Ожидаемые общие затраты, руб/день	8400	9860	+17%
Вероятность дефицита	0,12	0,04	–67%

Таким образом, исходя из расчетов, учет рисков сбоев поставок требует увеличения страхового запаса на 70%, что повышает надежность снабжения (снижение вероятности дефицита в 3 раза) при росте общих затрат всего на 17%.

Важно отметить, что предложенные математические и имитационные модели создают основу для разработки комплекса практических мер, направленных на снижение производственных рисков. Интеграция этих моделей в систему менеджмента качества и организационную структуру предприятия позволяет перейти к целостному управлению рисками на всех этапах производственного цикла.

Организационно-экономический механизм управления рисками

На основе количественных оценок разработана система мер, интегрируемых в процессы организации производства, включающая:

1. Предпроизводственный этап – внедрение 3D-сканирования блоков и УЗК-дефектоскопии. Ожидаемое снижение δd на 30–40%.
2. Производственный этап – использование адаптивных управляющих программ, корректирующих режимы резания в зависимости от показаний датчиков (η повышается до 0,95).
3. Постпроизводственный этап – автоматизированный контроль геометрии изделий с обратной связью в MES-систему.
4. Управление запасами – внедрение оптимизационной модели с учетом рисков, интегрированной в ERP-систему предприятия.

Экономическая эффективность предлагаемых мер оценивается по формуле:

$$\Xi = \Delta C_{\text{брака}} + \Delta C_{\text{зап}} - Z_{\text{внедр.}}$$

где $\Delta C_{\text{брака}}$ – снижение стоимости брака, $\Delta C_{\text{зап}}$ – снижение затрат на управление запасами, $Z_{\text{внедр.}}$ – затраты на внедрение. При $\Delta C_{\text{брака}} = 2,8$ млн руб/год, $\Delta C_{\text{зап}} = 0,9$ млн руб/год, $Z_{\text{внедр.}} = 2,2$ млн руб., $\Xi = 1,5$ млн руб/год.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование позволило установить, что определяющее влияние на качество продукции высокотехнологичных камнеобрабатывающих предприятий оказывает геолого-качественная неоднородность сырья, выступающая источником системных производственных потерь. Количественную основу для принятия управленческих решений в системе менеджмента качества формируют предложенная математическая модель оценки уровня риска $R = P \times I$ и функция потерь Q , позволяющие формализовать степень воздействия дестабилизирующих факторов.

Методами корреляционного анализа подтверждена сильная статистическая связь между наличием скрытых дефектов в сырье и итоговым процентом брака ($r = 0,82$), что обосновывает необходимость приоритетного входного контроля. Декомпозиция структуры брака с помощью диаграммы Парето показала: 80,7% всех потерь обусловлены тремя видами дефектов, что создает основу для концентрации ресурсов на наиболее критических точках производственной цепи.

Разработанная экономико-математическая модель оптимизации запасов сырья, учитывающая стохастическую природу рисков, демонстрирует возможность снижения вероятности дефицита в 3 раза при умеренном росте сопряженных затрат. Комплексная интеграция риск-ориентированного подхода в организацию производства обеспечивает снижение уровня брака на 18–22% и повышение коэффициента использования оборудования, подтверждая экономическую целесообразность предлагаемых решений.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой интеллектуальных систем поддержки принятия решений, базирующихся на нейросетевом анализе сырьевых параметров, что позволит перейти от реактивного управления дефектами к предиктивной модели обеспечения качества.



Источники

1. ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Системы менеджмента качества. Требования. М.: Стандартиформ, 2015.
2. Ипатьева И.А. Управление запасом скоропортящегося сырья на производственном предприятии при логистических сбоях // Российский журнал менеджмента. 2023. Т. 21. № 1. С. 39–65.
3. Пресман Э.Л., Сонин И.М. Модель управления запасами с ценами на сырье, зависящими от цепи Маркова // Экономика и математические методы. 2023. № 2. С. 45–58.
4. Чернякова И.С. Применение методов имитационного моделирования в рамках управления финансовой устойчивостью предприятий // Экономика, предпринимательство и право. 2019. Т. 9. № 2. С. 81–92.
5. Левченко Д.И., Светличная В.А., Бабич К.К. Разработка имитационной модели для анализа динамики движения материалов и сырья с учетом рисков // Информационные технологии в экономике. 2022. № 5. С. 112–119.
6. Маслов С.Е. Модель определения времени заказа поставки с учетом неопределенности сроков доставки // Экономика и математические методы. 2019. Т. 55. № 2. С. 78–89.
7. Адлер Ю.П., Щепетова С.Е. Управление качеством: статистические методы. М.: МИСиС.

References

1. GOST R ISO 9001–2015. Quality management systems. Requirements. Moscow: Standartinform, 2015.
2. Ipatyeva, I.A., “Perishable Raw Material Inventory Management at a Manufacturing Enterprise During Logistics Disruptions,” Russian Journal of Management, 2023, Vol. 21, No. 1, pp. 39–65.
3. Presman, E.L., Sonin, I.M., “An Inventory Management Model with Raw Material Prices Dependent on a Markov Chain,” Economics and Mathematical Methods, 2023, No. 2, pp. 45–58.
4. Chernyakova, I.S., “Application of Simulation Modeling Methods in Managing the Financial Stability of Enterprises,” Economics, Entrepreneurship, and Law, 2019, Vol. 9, No. 2, pp. 81–92.
5. Levchenko D.I., Svetlichnaya V.A., Babich K.K. Development of a simulation model for analyzing the dynamics of the movement of materials and raw materials taking into account risks // Information technologies in economics. 2022. No. 5. pp. 112–119.
6. Maslov S.E. Model for determining the time of delivery orders taking into account the uncertainty of delivery times // Economics and mathematical methods. 2019. Vol. 55. No. 2. pp. 78–89.
7. Adler Yu.P., Shchepetova S.E. Quality management: statistical methods. Moscow: MISiS.

Испытания средств защиты на определение класса защиты при комбинированном воздействии взрывом с последующим применением электроинструментов, ручных ударных и термических инструментов

С.Е. Алексенцева,

профессор СамГТУ; г. Самара

Аннотация. Исследован процесс испытания стационарных средств защиты комбинированным воздействием взрыва и механических и термических инструментов на возможность сквозного проникновения во внутреннее пространство. Изложена методика проведения испытаний и особенности воздействия импульсного выброса комплексной энергии взрывчатого вещества на средства защиты в зависимости от их вида и конструкции. Показаны результаты взрывного воздействия на целостность конструктивных элементов и узлов средств защиты. Дан анализ влияния предваряющего воздействия взрыва на конструктивные элементы из неупрочненных и незакаленных слоев сталей в защитных сооружениях с целью взлома и проникновения при последующем комбинированном воздействии механических и тепловых инструментов.

Ключевые слова: ударная волна, заряд взрывчатого вещества, стационарные средства защиты, механические инструменты, класс защиты.

Summary. This article examines the testing of stationary protective equipment using the combined effects of an explosion and mechanical and thermal tools to determine the potential for through-penetration into the interior. The article presents the test methodology and the specific effects of a pulsed release of complex explosive energy on protective equipment, depending on its type and design. The results of the blast impact on the integrity of the protective equipment's structural components and assemblies are presented. An analysis

is provided of the influence of the preliminary blast impact on structural components made of unhardened and unquenched steel layers in protective structures, aimed at breaking and penetrating them during the subsequent combined impact of mechanical and thermal tools.

Keywords: shock wave, explosive charge, stationary protective equipment, mechanical tools, protection class.

В условиях современной доступности различных методов, материалов и инструментов с целью несанкционированного проникновения к ценным объектам возникают требования к комплексной защищенности средств защиты. Испытание средств защиты на устойчивость к комбинированному действию взрывчатого вещества и последующего воздействия механических и термических инструментов является одним из методов, обеспечивающих безопасность людей и различных категорий объектов для класса защиты с уровнем «ЕХ» [1]. ГОСТ Р 34593–2019 определяет наиболее широко применяемые защитные объекты – двери защитные, устанавливаемые в зданиях и сооружениях, в том числе в банковских хранилищах ценностей, комнатах сейфовых, закрытых стрелковых тирах, помещениях (комнатах) хранения оружия, постов охраны и т.д., а также бытовые металлические двери и другие, соответствующие защитным характеристикам объектов [2]. Основная задача – обеспечить устойчивость средств и элементов защиты и их конструктивных элементов от непосредственного воздействия продуктов детонации с условием конструктивной целостности объекта. Защита сохраняемых объектов должна предотвратить несанкционированный доступ, а также воздействие вторичных поражающих элементов взрыва. При испытаниях в соответствии с [1], сейфы



классов устойчивости к взлому от IV до X для получения обозначения «ЕХ» должны как минимум иметь значения устойчивости после взрыва.

В результате научно-исследовательской практической деятельности Испытательного центра «Самара» СамГТУ сформированы и отработаны методики и даны рекомендации по проведению испытаний средств защиты при комбинированном воздействии взрывной ударной волны и механического и термического инструмента. Основные положения методик основаны на ГОСТ Р 34593–2019 и ГОСТ Р 50862–96 и формулируются как испытания на устойчивость к взлому после взрыва.

Методология проведения испытаний на комбинированное воздействие

Общая методика представляет собой совокупность теоретико-аналитических, нормативно-правовых, контрольных и исследовательско-испытательных мероприятий. В ходе проводимой испытательной деятельности выявляют конструктивные недоработки, ослабленные конструктивные элементы, разрушение отдельных узлов с недостаточной степенью защиты и проводятся оценочные мероприятия для определения нормативного доступа в соответствии с ГОСТ [1]. Оценочные мероприятия реализуются для выявления слабых и неучтенных зон защиты исследуемого объекта. Для определения класса защиты исследуемого объекта проводят воздействие с применением взрывчатых материалов и взрывного воздействия. С учетом уровня расчетного сопротивления объекта и габаритных характеристик исследуемого средства определяются массовые параметры взрывчатого материала. Непосредственное энергетическое взрывное воздействие должно быть максимально эффективным с максимальным коэффициентом использования энергии. Необходимо оперировать не только предусмотренным инструментарием и вспомогательными устройствами, но и провести исследовательский оценочный анализ условий испытательного процесса, учитывая все факторы первичных и вторичных воздействий. Нормативно заложенные виды полного или частичного доступа должны определяться после действия энергии взрывчатого вещества на объект и последующего воздействия механическими инструментами.

Испытания на комбинированное воздействие проводят как для образцов средств защиты, защитных материалов, из которых изготавливают бронированные изделия, конструктивные узлы изделия, отдельные элементы объекта.

Испытания элементов стыковых сочленений проводят для собранной конструкции с иссле-

дуемыми конструктивными блоками вкупе. Действие продуктов детонации на защитную область может проводиться со стороны внешней поверхности объекта и во внутреннем пространстве объекта. Направленное воздействие продуктов детонации формирует ударно-импульсный волновой поток в пространстве и мощное направленное энергетическое действие на средства защиты.

Процедура испытания дверей хранилища ценностей на устойчивость к воздействию взрыва включает дверное полотно, коробку двери, запорные блоки и механизмы, смонтированные совместно с элементом стены комнаты хранилища. Их испытания проводят совместно.

Проводят аналитические исследования устойчивости и разрушений принятых для испытаний образцов на соответствие нормативной документации на объект, конструкторской документации, размерным характеристикам по чертежам с учетом размерных отклонений, проводится измерение физико-механических характеристик – прочности, твердости, вязкости и пластичности реальных образцов. После проведенных испытаний проводится анализ структурных изменений образца средства защиты, оценивается результативность проведенных воздействий на получение полного или частичного доступа. Определенные несоответствия, возникающие в процессе испытаний, должны быть зафиксированы в протоколе. Для подробных аналитических исследований результатов воздействий испытанный образец защитного средства может быть разрезан в интересующих областях.

В соответствии с ГОСТ Р 50862–2017 в качестве взрывчатого материала используется взрывчатое вещество со следующими свойствами: плотность – (1500 ± 50) г/дм³, удельная энергия – (5000 ± 500) Дж/г, скорость детонации – (7000 ± 500) м/с. В зависимости от класса защиты используется масса взрывчатого вещества от 70 до 375 г.

Одним из наиболее востребованных направлений является испытание сейфов с определением класса защиты. Процедура испытания сейфа включает предварительные мероприятия по созданию проема с целью возможности введения через него во внутреннее пространство сейфа взрывчатого вещества. При условии, что объем образца сейфа менее 350 дм³, масса заряда взрывчатого вещества составляет 100 г. В других случаях массу специально рассчитывают в зависимости от объема.

Испытания хранилища ценностей включают мероприятия для получения полного доступа при воздействии на стену комнаты хранилища ценно-

стей, полотно двери и коробку. Масса заряда взрывчатого вещества для испытания хранилищ ниже IX класса устойчивости должна быть 250 г, а также определяется расчетом. Метод проведения подготовительных работ и испытаний для сейфов и хранилищ по сути аналогичен.

Защитная кабина как объект испытаний подвергается воздействию продуктов детонации при подрыве заряда взрывчатого вещества, используется накладной заряд, эквивалентный по массе 100 г тринитротолуола. Применяемое для испытаний взрывчатое вещество должно быть изготовлено промышленным методом на заводе с проверенными взрывчатыми, химическими и физико-механическими характеристиками. Контролируются массовые характеристики зарядов, скорость детонации, энергия взрыва и др.

Процесс испытаний проводится с применением испытательного оборудования. Испытательный образец выставляется и жестко закрепляется на фундаментальном основании камеры для проведения взрывов. Должно быть создано прижатие образцов по всему контуру плоскости с применением прокладочной резины по контуру.

Испытания на взрыв должны проводить квалифицированные специалисты, имеющие документ о специальном образовании на право производства взрывных работ и осуществление работы со взрывчатыми веществами. Результат испытаний дает возможность присвоить защитной конструкции и материалам соответствующий класс защиты и позволяет оценить защитные характеристики объектов.

После проведения подрыва заряда взрывчатого вещества на объекте производятся испытания на взлом в области взрывного воздействия.

Следующим этапом комбинированных испытаний является проведение тестирования на устойчивость к взлому. Применяется воздействие на объект режущими механическими, тепловыми инструментами до достижения полного доступа и проникновения или фиксируется необходимая стойкость к взлому после воздействия продуктами взрыва. В качестве механических инструментов используют ручные дрели, сверла, перфораторы, углошлифовальные машинки, отбойные электромолотки, ломы и т.п. Проводится испытание ацетилено-кислородными резаками. Определяется значение сопротивления комбинированному воздействию в единицах сопротивления для полного доступа. Полный цикл проведенных испытаний интерпретируется как тестирование защитных объектов на взлом с применением специальных инструментов после взрывного воздействия. Проводят измерение

размерных характеристик пробитых проемов для прохождения специальных жестких испытательных шаблонов и оценивают частичный доступ к внутреннему пространству испытуемого защитного объекта. Жесткие испытательные шаблоны применяют для установления полного доступа во внутреннее пространство объекта.

Образец испытуемого объекта считается выдержавшим тестовые испытания на действие взрыва, если не достигается факт частичного или полного доступа.

Результаты исследования взрывного воздействия на конструктивные элементы и узлы средств защиты

Исследуя процесс воздействия ударной волны на средство защиты, можно сделать вывод о неоднозначности только разрушающего действия взрыва. По данным многочисленных исследований протекания импульсного ударно-волнового процесса в твердых материалах имеем упрочняющую компоненту в материалах [3–6]: эффект холодного наклепа ударной волной, с процессами дислокаций и перекомпоновкой элементов кристаллической решетки, при таких условиях и в такой среде новообразование ядер и молекул новых химических элементов, разрушение старых исходных, новых зон локальных напряжений в структуре металла – с разными уровнями прочности и пластичности.

Конструкции средств защиты имеют различные толщины и в основном многослойную комбинацию из различных материалов как металлических листов, так и неметаллических закладных слоев. Так, защитные двери хранилищ ценностей могут иметь толщины порядка 100 мм и много больше. Конструктивно двери хранилищ ценностей зачастую включают передний и внутренний листы из доступных недорогих сталей марки простых углеродистых строительных сталей Ст.1, Ст.2, Ст.3, изготавливаемые по ГОСТ 380–71 [7]. Механические характеристики наиболее часто используемой стали Ст.3: предел прочности – $\sigma_B = 450$ МПа, предел текучести – $\sigma_T = 250$ МПа, относительное удлинение – $\delta = 30\%$.

Толщина переднего (лицевого) и внутреннего листа обычно составляет несколько миллиметров [8, 9]. Также в конструктивный блок включают листы сплавов титана, меди, алюминия и керамические материалы. В зависимости от конструкции двери при воздействии взрывчатого вещества часть конструктивных элементов (листов стали) не разрушается до сквозного пробития, остаются деформации.

В зависимости от конструкции последовательный ряд слоев не разрушается при воздей-



ствии взрыва, а имеет дополнительное деформирование и упрочнение, что затрудняет и тем увеличивает время последующего проникания сквозь дверную конструкцию с применением механических и тепловых инструментов по сравнению с исходными механическими характеристиками металлов.

В соответствии со схемой, представленной на рисунке, имеем поверхностный слой, в наибольшей степени воспринимающий разрушающе-деформирующее воздействие ударной волны. Данный слой сильнодеформированный с зонами расплавленного металла, проникающими потоками высокой текучести [3, 4]. Далее формируется слой с сильноизмененной кристаллической структурой холодного наклепа до показателей инструментальной стали повышенной прочности, способной значительно противостоять динамическому воздействию механических инструментов и теплового воздействия. Взрыв может перевести простую мягкую сталь в сталь следующего более высокопрочного порядка, инструментальную. Ударно-волновое упрочнение стали Ст.3 приводит к появлению зон множественного скольжения и упрочнению [5]. Структурно преобладают области ферритовых и перлитовых зерен. Растворимость углерода в α -железе с объемно-центрированной кубической кристаллической решеткой обусловлена тем, что в реальной решетке железа имеются дефекты, многочисленные, больше по границам зерен. [10]. При высокотемпературных воздействиях получается достаточно грубая, легко дифференцируемая при микроскопических исследованиях перлитовая структура, представляющая собой смесь феррита и цементита.

При 13 ГПа в железе и его сплавах наступает фазовое превращение, которое рассматривается как α - β -превращение, которое проявляется при динамических воздействиях. Рентгенографически установлено, что образуется гексагональная фаза высокого давления. При высоких давлениях происходит α - ϵ переход, формируются высокоскоростные деформации.

В результате слой стального листового материала Ст.3 могут увеличить твердость до 1,2 раза. Прочность по системе Роквелла в зависимости от глубины может увеличиться до 1,5 раза, что в целом приводит к увеличению стойкости к внешним механическим воздействиям, повышению технических параметров слоев металлов конструкций защитных сооружений.

Таким образом, предварительное воздействие взрыва на неупрочненные и незакаленные слои

сталей в конструкции защитных сооружений может приводить к усложнению условий и увеличению времени проникания при последующем комбинированном воздействии механических и тепловых инструментов, что приводит к снижению класса защиты.

Источники

1. ГОСТ Р 50862–2017. Сейфы, сейфовые комнаты и хранилища ценностей. Требования и методы испытаний на устойчивость к взлому. М.: Стандартинформ, 2018. 35 с.
2. ГОСТ Р 34593–2019. Двери защитные. Общие технические требования и методы испытаний на устойчивость к взлому, взрыву и пулестойкость. М.: Стандартинформ, 2019. 14 с.
3. Ковалевский В.Н., Сенченко Г.М. Деформационно-термическое упрочнение стали 40Х с использованием взрыва // Литье и металлургия. 2005. № 4(36). С. 154–156.
4. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. 3-е изд., перераб.: В 2 т. Т. 2. М.: Физматлит, 2002. 656 с.
5. Букаемский А.А., Кирко В.И., Табулаев Д.Е. Особенности упрочнения стали Ст.3 при ударно-волновом воздействии // ФГВ. 2001. Т. 37. № 6. С. 119–123.
6. Прюммер Р. Обработка порошкообразных материалов взрывом. М.: Мир, 1990. 128 с.
7. ГОСТ 380–71. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки и общие технические требования. М.: Гостандарт СССР. 33 с.
8. Скоков М.В., Некрылов Ю.В., Алексеенцева С.Е. Проектирование защитных сооружений двойного назначения: Наука. Промышленность. Оборона: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Новосибирск, НГТУ, 21–23 апреля 2004 г. Новосибирск, 2024. С. 29.
9. Алексеенцева С.Е., Башарин А.А., Матвеев Е.С. Инженерно-технические средства защиты: Наука. Промышленность. Оборона: Труды Всероссийской научно-технической конференции. Новосибирск, НГТУ, 18–20 апреля 2007 г. // Ежегодное приложение к журналу «Вестник Академии военных наук. 2007. С. 13, 14.
10. Гуляев А.П., Гуляев А.А. Металловедение. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2012. 643 с.

References

1. GOST R 50862–2017. Safes, Strong Rooms, and Valuables Storage Facilities. Requirements and Test Methods for Burglary Resistance. Moscow: Standartinform, 2018. 35 p.
2. GOST R 34593–2019. Protective Doors. General Technical Requirements and Test Methods for Burglary, Explosion, and Bullet Resistance. Moscow: Standartinform, 2019. 14 p.
3. V. N. Kovalevsky, G. M. Senchenko. Deformation-Thermal Hardening of 40X Steel Using Explosion // Casting and Metallurgy. 2005. No. 4(36). pp. 154–156.
4. Explosion Physics / Ed. by L. P. Orlenko. 3rd ed., revised: In 2 volumes. Vol. 2. Moscow: Fizmatlit, 2002. 656 p.
5. Bukaemskiy A.A., Kirko V.I., Tabulaev D.E. Features of Steel St.3 Hardening under Shock-Wave Exposure // FGV. 2001. Vol. 37. No. 6. pp. 119–123.
6. Prümmer R. Explosion Treatment of Powder Materials. Moscow: Mir, 1990. 128 p.
7. GOST 380–71. Carbon Steel of Ordinary Quality. Grades and General Technical Requirements. Moscow: USSR State Standard. 33 p.
8. Skokov M.V., Nekrylov Yu.V., Aleksentseva S.E. Design of Dual-Purpose Protective Structures: Science. Industry. Defense: Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference. Novosibirsk, NSTU, April 21–23, 2004. Novosibirsk, 2024. P. 29.
9. Aleksentseva S.E., Basharin A.A., Matveyev E.S. Engineering and Technical Means of Protection: Science. Industry. Defense: Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference. Novosibirsk, NSTU, April 18–20, 2007 // Annual Supplement to the Journal «Bulletin of the Academy of Military Sciences. 2007. Pp. 13, 14.
10. Gulyaev A.P., Gulyaev A.A. Metal Science. 7th ed., revised and enlarged. Moscow: Alliance, 2012. 643 p.



К вопросу обеспечения метрологических характеристик средств измерения

А.Н. Переселкова,

*студент, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»; г. Пенза
e-mail: pereselkova22@gmail.com*

Л.В. Макарова,

канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»; г. Пенза

Аннотация. В статье рассматривается проблема обеспечения метрологических характеристик средств измерения как ключевого фактора контроля качества продукции в различных отраслях. По данному вопросу предложены соответствующие корректирующие и предупреждающие меры.

Ключевые слова: средство измерения, СИ, метрологические характеристики, несоответствие, контроль качества продукции.

Summary. This article examines the issue of ensuring the metrological characteristics of measuring instruments as a key factor in product quality control in various industries. Corresponding corrective and preventive measures are proposed.

Keywords: measuring instrument, measuring instrument, metrological characteristics, nonconformity, product quality control.

Поддержание высокого уровня качества выпускаемой продукции на предприятиях любой отрасли невозможно без контроля параметров технологических процессов, что в свою очередь связано с выполнением определенных измерительных операций [1].

Любые измерения осуществляются при помощи СИ, метрологические характеристики которых напрямую влияют на достоверность полученных результатов и, как следствие, на достоверность оценки уровня качества выпускаемой продукции [2].

Актуальность исследуемого вопроса заключается в необходимости обеспечения метрологических характеристик средств измерения в различных отраслях промышленности.

Проблематика рассматриваемого вопроса заключается в несоответствии измерительных устройств установленным требованиям, а также недостоверности данных, полученных при использовании дефектных средств измерения [3].

В процессе работы с различными СИ могут возникать и нестандартные задачи, к решению которых должны быть готовы специалисты в области обеспечения качества.

Рассмотрим следующую модель ситуации: манометр грузопоршневой (эталон) был предоставлен на периодическую поверку. По результатам поверки была установлена непригодность устройства. Причиной непригодности является превышение допустимых пределов погрешности средства измерения.

К факторам, влияющим на достоверность данных, полученных при помощи СИ любого типа, можно отнести:

- условия использования;
- механические повреждения;
- влияние внешней среды;
- наработка на отказ;
- правильность эксплуатации;
- человеческий фактор.

Для решения данной задачи было проведено детальное описание процесса «Управление несоответствиями», представленное в виде SADT-модели (рис. 1).

С целью выявления возможных причин возникновения данного несоответствия был проведен сравнительный анализ механизмов раннего выявления несоответствия. С этой целью выбран следующий перечень инструментов:

- Метод № 1 – Гистограмма;
- Метод № 2 – Байесовский анализ;
- Метод № 3 – Диаграмма Исикавы;
- Метод № 4 – Диаграмма Парето;
- Метод № 5 – FMEA-анализ;
- Метод № 6 – Контрольные карты;
- Метод № 7 – Развертывание функции качества;
- Метод № 8 – Моделирование методом Монте-Карло.

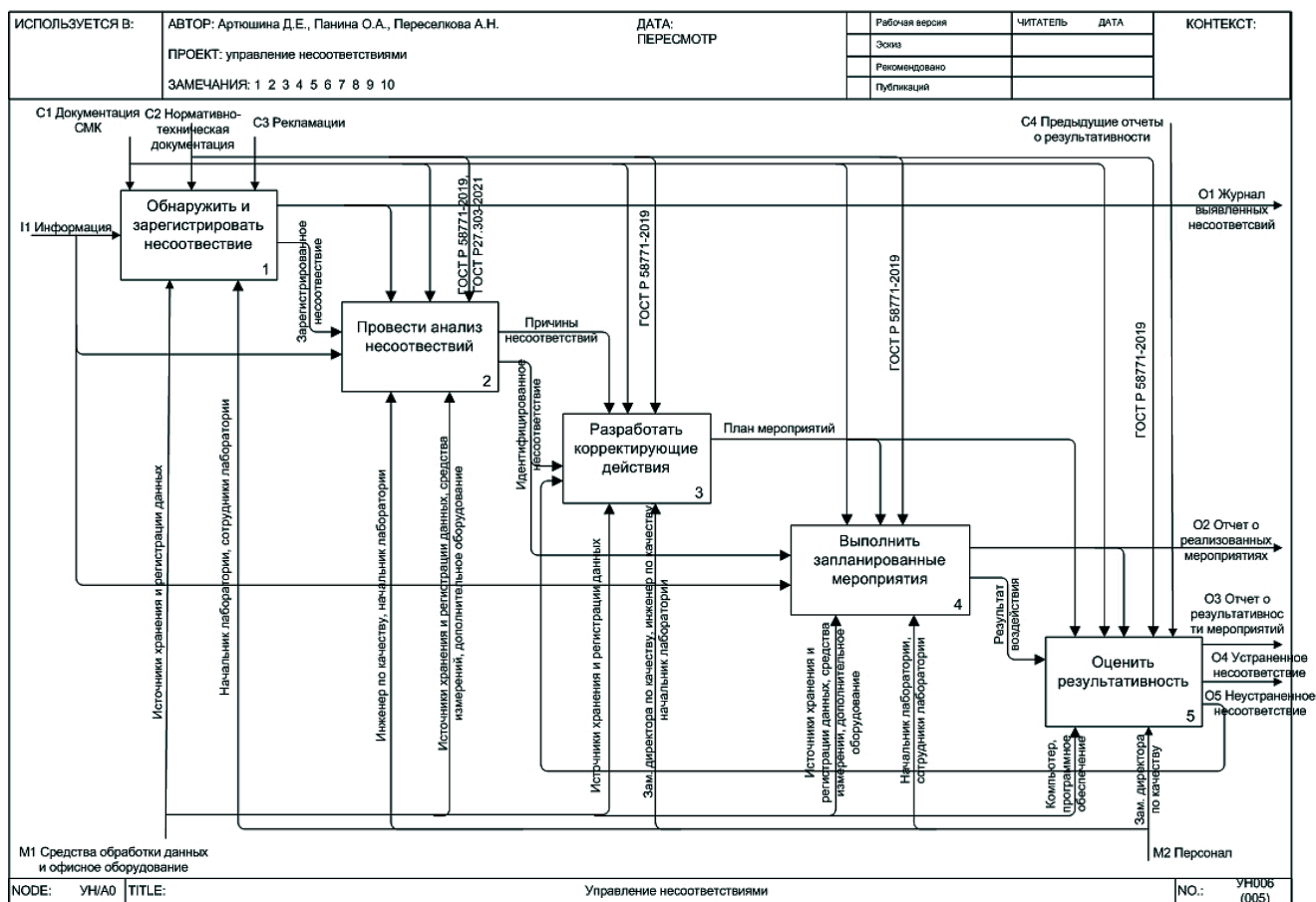


Рисунок 1. SADT-модель процесса «Управление несоответствиями»

При выборе наиболее эффективного инструмента, позволяющего выявить причины возникновения несоответствий, были выбраны следующие критерии:

- простота применения (понимания) метода;
- длительность процесса сбора и обработки информации;
- соответствие современным условиям осуществления профессиональных обязанностей;
- время достижения эффекта при применении метода;
- ресурсоемкость использования;
- доступность информации для мониторинга;
- (сбор исходной информации);
- необходимость в дополнительном обучении персонала;
- достоверность полученных результатов;
- возможность применения современных цифровых технологий;
- универсальность метода.

По результатам проведенного экспертного опроса было установлено, что по совокупности выбранных критериев наиболее целесообразным является использование диаграммы Исикавы. Результаты проведенного опроса представлены в виде столбчатой диаграммы (рис. 2).

В соответствии с условиями решаемой проблемы, связанной с нарушениями метрологических характеристик СИ, была построена причинно-следственная диаграмма, представленная на рис. 3.

После выявления всех возможных причин появления несоответствия при помощи диаграммы Исикавы необходимо определить, какие из них могут оказать наибольшее влияние на возникновение рисков событий. Для этого можно воспользоваться FMEA-анализом.

Анализ форм и последствий отказов, также известный как FMEA-анализ, применяется для обнаружения причин и механизмов возникновения несоответствий и их предотвращения, что позволяет не только повысить качество продукции, но также снизить затраты на устранение несоответствий на последующих стадиях жизненного цикла продукции [4]. FMEA-анализ направлен на предотвращение потенциального брака, так как устранение уже обнаруженного дефекта будет требовать немалых финансовых потерь для предприятия.

Пример FMEA-анализа по типу риска «Нарушение требований п. 6.2.4 по распределению обязанностей и полномочий» представлен в табл. 1.

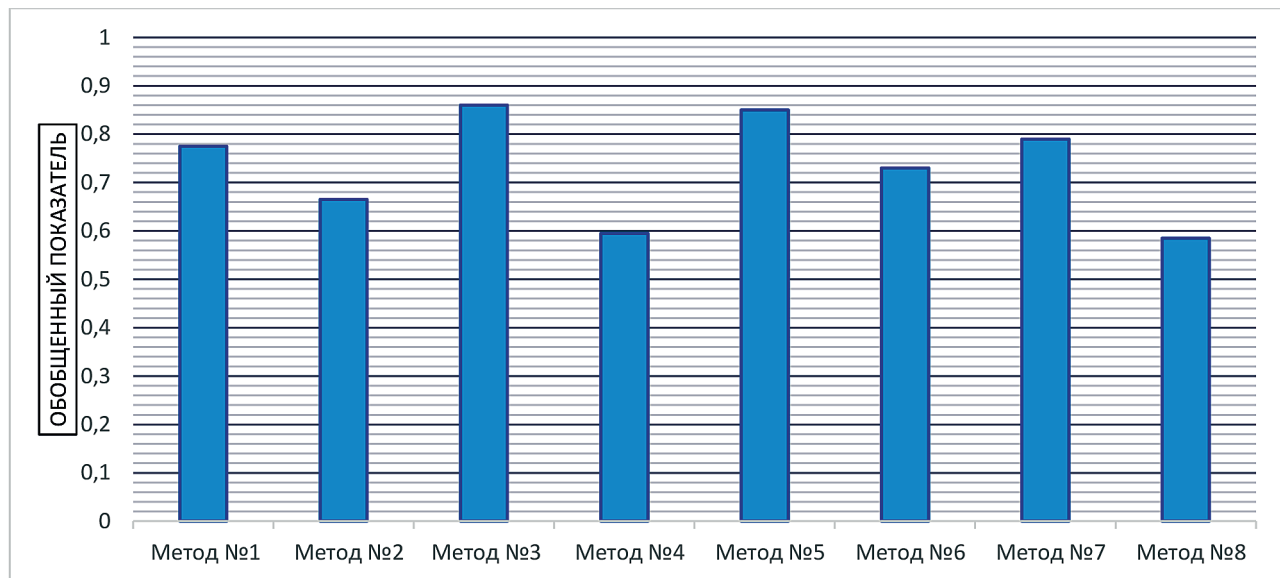


Рисунок 2. Результаты экспертной оценки методов раннего выявления несоответствий

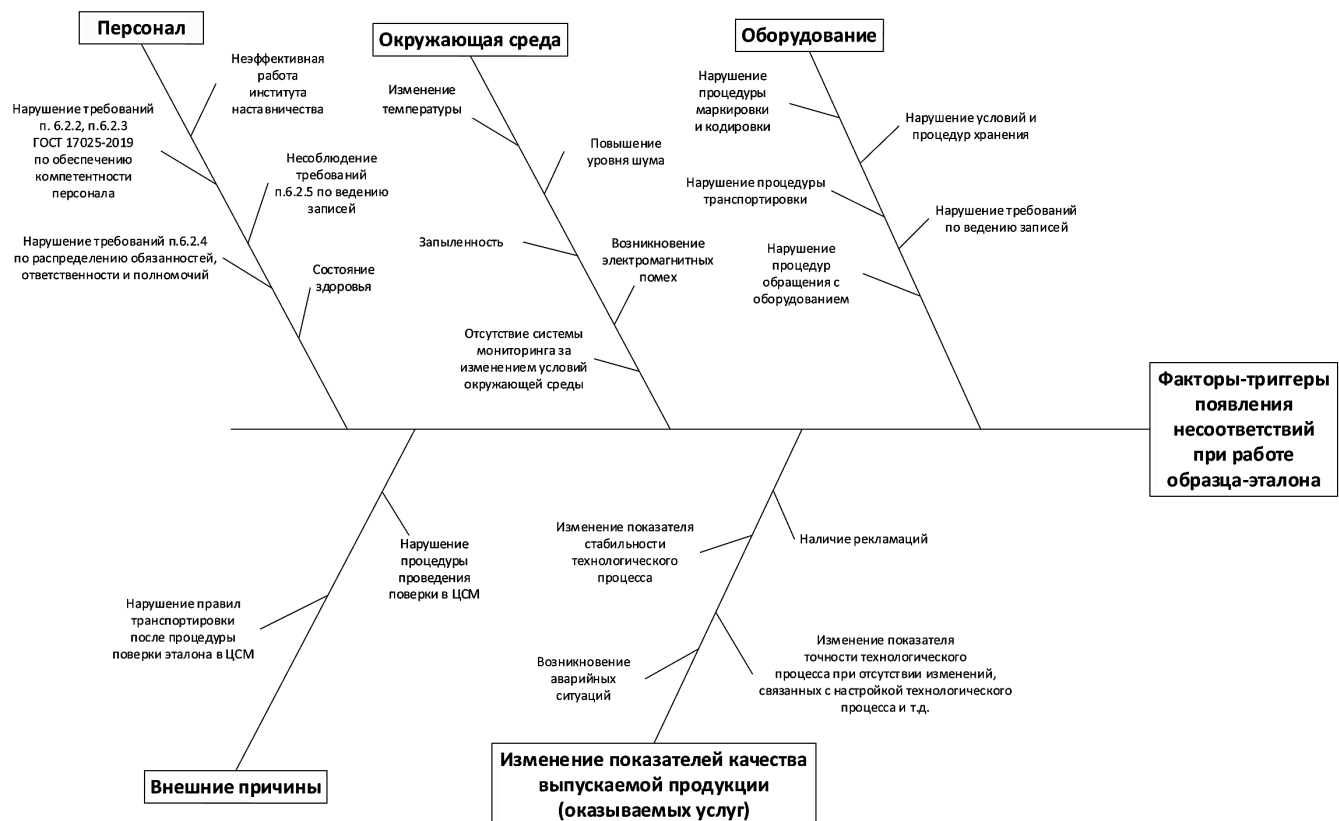


Рисунок 3. Диаграмма Исикавы

На основании полученных результатов были выявлены следующие причины появления несоответствий, имеющие наиболее высокое значение приоритетного числа рисков:

- неэффективная работа института наставничества;
- нарушение требований п.6.2.2, п. 6.2.3 ГОСТ 17025–2019;

- нарушение требований п. 6.2.4 по распределению обязанностей, ответственности и полномочий;
- несоблюдение требований п. 6.2.5 по ведению записей;
- состояние здоровья сотрудников;
- нарушение правил транспортировки после процедуры поверки эталона в ЦСМ;

Таблица 1. FMEA-анализ

Риск	Причины риска	Следствия риска	Оценки	Мероприятия по снижению риска
Нарушение требований п. 6.2.4 по распределению обязанностей, и полномочий	– Недостаточная квалификация персонала; – отсутствие четких инструкций; – отсутствие системы контроля выполнения обязанностей	– Увеличение количества ошибок и несоответствий; – ухудшение репутации компании; – финансовые потери	Значимость: 8 Частота: 3 Выявление: 6 ПЧР = 144	– Повышение квалификации персонала; – разработка и внедрение четких инструкций и регламентов; – создание системы контроля выполнения обязанностей; – установление эффективного взаимодействия между подразделениями

- нарушение процедуры проведения поверки в ЦСМ;
- изменение показателя стабильности технологического процесса;
- возникновение аварийных ситуаций;
- наличие рекламаций;
- изменение показателя точности технологического процесса при отсутствии изменений, связанных с настройкой технологического процесса;
- соблюдение условий хранения рабочего эталона.

В результате проведения FMEA-анализа было установлено, что наибольший риск несут причины № 3, 8, 9 (рис. 4).

На основе полученных результатов разработаны соответствующие корректирующие и предупреждающие действия. Предложенные меры приведены в табл. 2.

В ходе решения поставленной задачи выявлены основные причины возникновения такого вида несоответствия, как непригодность СИ. Для этого была построена причинно-следственная диаграмма, результаты которой проанализированы с помощью метода FMEA.

На основании выявленных рисков, которые являются наиболее критичными, предложены соответствующие корректирующие и предупреждающие действия.

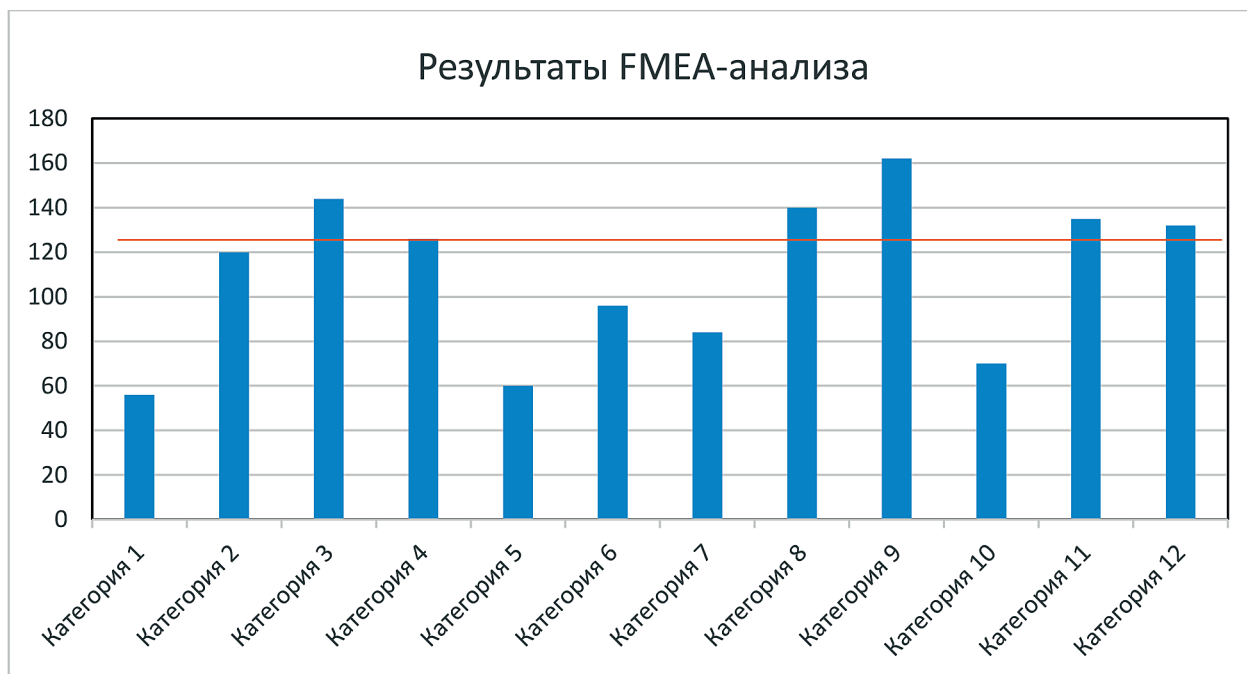


Рисунок 4. Результаты FMEA-анализа



Таблица 2. Разработанные корректирующие и предупреждающие действия

Факторы риска	Корректирующие действия	Предупреждающие действия
Изменение условий хранения образца эталона	Создание базы дублирующих эталонов или использование рабочих средств измерения с известной погрешностью измерения (образцовых манометров) для проведения периодического сличения данных	Проведение статистического анализа изменения параметров окружающей среды (температура, уровень влажности)
Нарушение требований по распределению обязанностей, ответственности и полномочий сотрудников лаборатории	1. Проведение аудита текущих процедур распределения обязанностей, ответственности и полномочий в лаборатории. 2. Выявление конкретных несоответствий требованиям п. 6.2.4 ГОСТ 17025–2019. 3. Внедрение системы мониторинга выполнения новых процедур. 4. Регулярное проведение проверки соблюдения процедур распределения обязанностей и ответственности	1. Планирование и проведение регулярных аудитов процедур распределения обязанностей, ответственности и полномочий. 2. Оценка эффективности существующих процедур и выявление потенциальных рисков появления несоответствий. 3. Создание каналов для обратной связи от сотрудников относительно проблем и предложений по улучшению процедур распределения обязанностей. 4. Анализ полученной обратной связи и внесение необходимых изменений в процедуры. 5. Анализ тенденций в нарушении процедур распределения обязанностей и разработка превентивных мер для устранения причин нарушений. 6. Внедрение дополнительных контрольных точек и механизмов для предотвращения возможных несоответствий в будущем
Изменение показателя стабильности технологического процесса и анализ возникновения аварийных ситуаций	1. Определение фактических показателей точности и стабильности технологического процесса и показателей качества продукции. 2. Проведение детального расследования каждой аварийной ситуации для определения ее причин. 3. Сбор и анализ данных о предшествующих условиях и факторах, которые привели к аварии	1. Внедрение статистических методов управления качеством при производстве продукции и анализ изменения показателей точности и стабильности технологического процесса и показателей качества выпускаемой продукции. 2. Составление графика регулярного технического обслуживания и поверки всего оборудования, используемого в процессах. 3. Проведение регулярного анализа потенциальных рисков, связанных с оборудованием, процедурами и условиями работы. 4. Выявление и оценка рисков возникновения аварийных ситуаций и разработка мер по их минимизации

Таким образом, поскольку контроль качества продукции во всех отраслях промышленности тесно связан с измерениями различных параметров, обеспечению метрологических характеристик средств измерения необходимо уделять особое внимание.

Несоответствие СИ установленным требованиям и, как следствие, недостоверность данных, полученных при использовании СИ, могут не только привести к выпуску некачественной продукции, но и понизить конкурентоспособность всего предприятия, что приведет к различным убыткам.

Источники

1. Коровин Д.Е., Мигачева Г.Н. Актуальные задачи метрологического обеспечения на машиностроительном предприятии. Проблемы и мероприятия повышения эффективности метрологического обеспечения // Техническое регулирование в едином экономическом пространстве: Сб. статей IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 19 мая 2022 г., г. Екатеринбург / Рос. гос. проф.-пед. ун-т. Екатеринбург: РГППУ, 2022. 258 с.
2. Турсунпулатов Ш.Р. Метрология как наука: история, основные понятия и современные тенденции [Электронный ресурс]. Инновационная наука. 2025. № 7-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metrologiya-kak-nauka-istoriya-osnovnye-ponyatiya-i-sovremennye-tendentsii>
3. Кошлякова И.Г., Пеева Е.В., Суворова К.О., Кошлякова Е.А. Автоматизация метрологического обеспечения на предприятиях [Электронный ресурс]. Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). 2010. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-metrologicheskogo-obespecheniya-na-predpriyatiyah>
4. Кучугуров И.В., Калинина Н.Е. Практика применения FMEA-анализа на российском промышленном предприятии // Техническое регулирование в едином экономическом пространстве: Сб. статей VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 23 мая 2019 г., г. Екатеринбург / Рос. гос. проф.-пед. ун-т. Екатеринбург: РГППУ, 2019. 265 с.

References

1. Korovina D.E., Migacheva G.N. Actual tasks of metrological support at a mechanical engineering enterprise. Problems and measures to improve the efficiency of metrological support // Technical regulation in a single economic space: Collection of articles of the IX All-Russian scientific and practical conference with international participation. May 19, 2022, Yekaterinburg / Russian State Prof. and Pedagogical University. Yekaterinburg: RSVPU, 2022. 258 p.
2. Tursunpulatov Sh.R. Metrology as a science: history, basic concepts, and modern trends [Electronic resource]. Innovative science. 2025. No. 7-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metrologiya-kak-nauka-istoriya-osnovnye-ponyatiya-i-sovremennye-tendentsii>
3. Koshlyakova I.G., Peeva E.V., Suvorova K.O., Koshlyakova E.A. Automation of metrological support at enterprises [Electronic resource]. Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). 2010. No. 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-metrologicheskogo-obespecheniya-na-predpriyatiyah>
4. Kuchugurov I.V., Kalinina N.E. Practice of applying FMEA analysis at a Russian industrial enterprise // Technical regulation in a single economic space: Coll. Articles of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, May 23, 2019, Yekaterinburg / Russian State Prof. and Pedagogical University. Yekaterinburg: RSPPU, 2019. 265 p.



Соответствие параметрической модели управления рисками трансфера технологий требованиям IATF 16949:2016 и ГОСТ Р ИСО 31000

М.Ф. Федорчук

мл. науч. сотр., ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет»,
г. Волгоград
e-mail: chesheva@volsu.ru

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-28-00855, <https://rscf.ru/project/25-28-00855/>

Аннотация. В настоящей статье представлен углубленный анализ соответствия разработанной автором параметрической модели интегральной оценки рисков дефицита (IR) требованиям стандарта IATF 16949:2016 и ГОСТ Р ИСО 31000–2019. Показано, что модель позволяет реализовать риск-ориентированный подход на всех этапах процесса менеджмента риска: от идентификации источников до мониторинга эффективности принятых мер.

Ключевые слова: управление рисками, IATF 16949:2016, ГОСТ Р ИСО 31000, цепочки поставок, интегральная оценка риска, план реагирования, трансфер технологий, автомобильная промышленность.

Summary. This article presents an in-depth analysis of the compliance of the parametric model of integrated deficit risk assessment (IR) developed by the author with the requirements of the IATF 16949:2016 standard and GOST R ISO 31000-2019. It is shown that the model makes it possible to implement a risk-based approach at all stages of the risk management process: from identifying sources to monitoring the effectiveness of measures taken.

Keywords: risk management, IATF 16949:2016, GOST R ISO 31000, supply chain, integrated risk

assessment, response plan, technology transfer, automotive industry.

Введение

Современные вызовы, связанные с нарушением логистических цепочек, импортозамещением и необходимостью обеспечения технологического суверенитета, требуют от предприятий автомобильной промышленности внедрения проактивных систем управления рисками [1]. Ключевым ориентиром в этой области является стандарт IATF 16949:2016 «Требования к системам менеджмента качества в автомобильной промышленности», который обязывает организации применять риск-ориентированное мышление при управлении цепочками поставок [2–5].

Раздел 8.4 стандарта IATF 16949:2016 «Управление процессами, продукцией и услугами, поставляемыми извне» содержит ряд требований, непосредственно связанных с управлением рисками в цепочке поставок. В частности, п. 8.4.1.2 «Процесс выбора поставщика» прямо требует, чтобы задокументированный процесс выбора поставщиков включал оценку рисков выбранного поставщика в отношении соответствия продукции и бесперебойности поставок продукции организации своим потребителям [6, 7]. Данное требование напрямую затрагивает необходимость количественной или качественной оценки рисков дефицита и перебоев поставок.

Кроме того, п. 8.4.2.2 «Законодательные и нормативные требования» обязывает организацию документировать процесс, обеспечивающий соответствие закупаемых процессов, продукции и услуг действующим законодательным и нормативным требованиям в стране получения, стране отгрузки и в стране назначения, определенной заказчиком [8]. Если заказчик устанавливает специальные виды контроля для продукции, подпадающей под такие требования, организация должна обеспечить

выполнение этих контролей, в том числе у поставщиков [8]. Хотя данный пункт формально касается законодательных требований, его практическая реализация тесно связана с управлением рисками: невозможность обеспечить бесперебойную поставку компонентов, соответствующих обязательным стандартам, ведет к нарушению требований 8.4.2.2 и создает юридические риски для организации.

Таким образом, стандарт IATF 16949:2016 в разделе 8.4 устанавливает системные требования к оценке и управлению рисками, связанными с перебоями в поставках, дефицитом мощностей поставщиков и обеспечением непрерывности производства в соответствии с применимыми нормативными требованиями.

Параллельно с отраслевыми требованиями в Российской Федерации действует национальный стандарт ГОСТ Р ИСО 31000–2019 «Менеджмент риска. Принципы и руководство», который является аутентичным переводом международного стандарта ISO 31000:2018 и задает универсальные принципы, структуру и процесс управления рисками для организаций любых типов и масштабов [9].

Для практического внедрения параметрической модели интегральной оценки рисков дефицита (IR), основанной на вероятностных характеристиках и показателях критичности компонентов, в деятельность предприятий автомобильной промышленности необходимо доказать ее соответствие требованиям указанных стандартов.

Прежде чем перейти к анализу соответствия стандартам, кратко охарактеризуем основные элементы параметрической модели. В ее основе лежит классическое определение риска как комбинации вероятности события и его последствий [9]. Применительно к дефициту компонентов риск определяется выражением:

$$IR_t = \int_0^t P_{\text{деф}}(t) \times E[C(t)] dt$$

где $P(t)$ – функция вероятности дефицита во времени;

$E[C(t)]$ – функция математического ожидания совокупных последствий во времени;

t – время (кварталы, месяцы, годы);

dt – дифференциал временного интервала.

Именно этот интегральный показатель (IR) становится ключевым объектом анализа с позиций соответствия требованиям стандартов.

Анализ соответствия модели требованиям IATF 16949:2016 (раздел 8.4).

Стандарт IATF 16949:2016 предъявляет к организациям конкретные требования в части управле-

ния цепочками поставок и оценки рисков. Рассмотрим их детально и сопоставим с возможностями, которые предоставляет параметрическая модель.

Пункт 8.4.1.2 «Процесс выбора поставщика» устанавливает, что задокументированный процесс выбора поставщиков должен включать: «оценку рисков выбранного поставщика в отношении соответствия продукции и бесперебойности поставок продукции организации своим потребителям» [10, 11].

Предложенная параметрическая модель непосредственно реализует данное требование путем количественной оценки риска дефицита для каждого компонента. Показатель вероятности дефицита $P_{\text{деф}}$, отражающий долю импортных поставок и степень концентрации источников снабжения, позволяет численно охарактеризовать риск перебоа поставок от конкретного поставщика или группы поставщиков. Показатель критичности C , учитывающий влияние компонента на безопасность и функциональность конечного продукта, характеризует потенциальный ущерб от нарушения соответствия продукции требованиям.

Таким образом, интегральный показатель $IR = P_{\text{деф}} \times C$ синтезирует обе составляющие требования 8.4.1.2: риск бесперебойности поставок (через $P_{\text{деф}}$) и риск соответствия продукции (через C).

Пункт 8.4.2.2 «Законодательные и нормативные требования» требует, чтобы организация имела задокументированный процесс, обеспечивающий соответствие закупаемых процессов, продукции и услуг применимым законодательным и нормативным требованиям в стране получения, стране отгрузки и стране назначения, указанной заказчиком [8]. Для продукции, подпадающей под специальные требования заказчика, организация должна обеспечить реализацию установленных контрольных мер, включая контроль у поставщиков.

Предложенная параметрическая модель не заменяет собой процедуры идентификации и контроля законодательных требований, предписанные п. 8.4.2.2. Однако модель может быть интегрирована в такой задокументированный процесс в качестве аналитического инструмента управления рисками несоответствия. А именно:

- количественная оценка показателей $P_{\text{деф}}$ и C позволяет выделить закупаемые компоненты, для которых нарушение поставок создает наиболее высокий риск невыполнения обязательных законодательных и нормативных требований к конечной продукции (например, требований безопасности, экологических стандартов);

- высокие значения IR служат объективным обоснованием для введения усиленных мер контроля таких позиций – включая более частые про-



верки соответствия у поставщиков, обязательное резервирование альтернативных источников, сертифицированных по применимым стандартам, и формирование страховых запасов;

- документирование результатов расчета IR, планов реагирования и мониторинга их выполнения формирует доказательную базу для внешних и внутренних аудиторов, демонстрирующую системный подход организации к обеспечению соответствия закупок применимым требованиям.

Таким образом, параметрическая модель IR поддерживает выполнение требования IATF 16949:2016 (п. 8.4.2.2) путем обеспечения риск-ориентированного управления критичными закупаемыми компонентами и документирования принятых мер.

Требование к применению риск-ориентированного мышления на всех этапах

IATF 16949 базируется на концепции риск-ориентированного мышления, интегрированного в цикл PDCA (*Plan-Do-Check-Act*). Интегральный показатель IR позволяет реализовать эту концепцию следующим образом:

Plan (Планирование): на основе анализа значений Рдеф и С для компонентов формируется план управления рисками. Высокие значения IR указывают на необходимость разработки превентивных мер;

Do (Выполнение): реализуются запланированные контрмеры (например, поиск альтернативных поставщиков, увеличение страховых запасов);

Check (Проверка): производится перерасчет IR с учетом изменившихся параметров ($P_{\text{деф}}(t)$ снижается благодаря диверсификации);

Act (Действие): на основе нового значения IR принимается решение о достаточности мер или необходимости их корректировки.

Таким образом, модель встраивается в стандартный управленческий цикл, что является обязательным условием для сертифицированных систем менеджмента качества.

Интеграция с методологией FMEA

В рамках требований к анализу проекта (Design FMEA) и процессов (Process FMEA) стандарт требует идентификации компонентов, влияющих на безопасность и функциональность [6]. Модель использует показатели Si и Fi, которые могут быть напрямую заимствованы из FMEA-анализа. Коэффициенты ws и wf позволяют ранжировать компоненты по степени их значимости для конечного продукта, что обеспечивает выполнение требований IATF по определению «особых характеристик» (special characteristics) [8].

Планирование мер по снижению рисков

Пункты 8.4.1.2 и 8.4.2.2 в совокупности требуют, чтобы организации определяли и реализовывали действия по снижению рисков и развитию планов на случай непредвиденных обстоятельств (контингенси-планов) [10, 11].

Значение Рдеф, рассчитанное как доля импортных поставок, прямо указывает на степень зависимости от конкретных поставщиков или регионов. Снижение Рдеф является прямым следствием развития альтернативных источников. Модель позволяет установить целевые показатели: например, снизить Рдеф для критических компонентов с 0,8 до 0,3 в течение года, что будет означать выполнение плана по диверсификации.

Гармонизация модели с принципами и структурой ГОСТ Р ИСО 31000–2019

ГОСТ Р ИСО 31000-2019 не устанавливает обязательных требований, а предоставляет руководящие принципы и структуру процесса. Соответствие модели этому стандарту означает, что она реализует лучшие мировые практики риск-менеджмента.

Стандарт определяет ряд ключевых принципов [9]:

- интегрированность: модель интегрируется в процессы производственного планирования и закупок;

- структурированность и комплексность: предложенный подход (от идентификации компонентов до расчета IR) является структурированным и охватывает все уровни – от отдельной детали до сборочного узла;

- адаптированность: параметры модели (весовые коэффициенты, пороговые значения риска) могут быть адаптированы под специфику конкретного предприятия;

- динамичность: интеграл по времени отражает требование стандарта о том, что риск может изменяться во времени и требует непрерывного мониторинга;

- наилучшая доступная информация: модель использует объективные данные (объемы поставок, результаты FMEA), что минимизирует субъективность оценок;

- учет человеческого и культурного факторов: хотя модель является количественной, настройка весовых коэффициентов ws и wf может учитывать экспертные мнения и корпоративную культуру безопасности;

- постоянное улучшение: цикл пересчета IR при изменении исходных данных служит основой для непрерывного совершенствования системы управления рисками.



ГОСТ Р ИСО 31000 устанавливает итеративный процесс, состоящий из нескольких этапов [9]. В таблице показано, как параметрическая модель поддерживает каждый из них.

Соответствие этапов процесса по ГОСТ Р ИСО 31000 элементам параметрической модели

Этап процесса по ГОСТ Р ИСО 31000	Реализация в параметрической модели
Установление области применения, среды и критериев	Определение номенклатуры анализируемых узлов и компонентов, установление пороговых значений приемлемого риска (например, IR _{доп})
Оценка риска:	
Идентификация риска	Выявление компонентов с высоким Рдеф (импортозависимость) и (или) высоким С (критичность)
Анализ риска	Количественный расчет Рдеф для каждого компонента и интегрального показателя IR
Сравнительная оценка риска	Сравнение полученных значений Рдеф и IR с установленными критериями риска
Обработка риска	Разработка и реализация контрмер, направленных на снижение Рдеф и (или) С
Мониторинг и пересмотр	Периодический пересчет IR (например, ежеквартально) для отслеживания динамики и оценки эффективности контрмер
Документирование и отчетность	Формирование отчетов (риск-профилей) по узлам и компонентам для руководства и внешних аудиторов

Ключевым практическим результатом применения параметрической модели является возможность разработки обоснованных и дифференцированных планов реагирования. В терминах стандартов это соответствует этапу «Обработка риска» (по ГОСТ Р ИСО 31000) и разработке «планов на случай непредвиденных обстоятельств» (по IATF 16949, подп. 8.4.1.2 и 8.4.2.2).

Требования к IATF 16949, и ГОСТ Р ИСО 31000 подчеркивают важность документирования процесса управления рисками. Предложенная параметрическая модель естественным образом встраивается в систему документооборота предприятия:

- реестр рисков: формируется на основе перечня компонентов с указанием Рдеф, С, Рдеф и IR;
- карты рисков: визуализируются с помощью цветовой индикации на 3D-моделях;

– планы мероприятий: разрабатываются на основе матрицы реагирования с указанием сроков и ответственных;

– отчеты по мониторингу: содержат динамику изменения IR во времени, доказывая эффективность или требуя корректировки принятых мер.

Именно наличие такого документированного и количественно обоснованного подхода является веским доказательством для аудиторов первой, второй или третьей стороной в том, что система менеджмента качества организации действительно функционирует на принципах риск-ориентированного мышления.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования показывают, что предложенная параметрическая модель интегральной оценки рисков дефицита (IR) полностью соответствует требованиям раздела 8.4 стандарта IATF 16949:2016, в частности п. 8.4.1.2 в части оценки рисков поставщика для соответствия продукции и бесперебойности поставок, а также п. 8.4.2.2 в части обеспечения системного контроля закупаемых процессов, продукции и услуг на соответствие применимым законодательным и нормативным требованиям.

Модель гармонизирована с принципами, структурой и процессом, установленными в национальном стандарте ГОСТ Р ИСО 31000–2019, что позволяет рассматривать ее как реализацию наилучших практик риск-менеджмента на предприятии.

Ключевым преимуществом модели является возможность не только количественно оценить риск, но и на основе этой оценки (значений Рдеф, С и IR) разрабатывать дифференцированные и обоснованные планы реагирования – от простого мониторинга до полной замены компонента или локализации производства.

Внедрение модели в практику деятельности предприятий автомобильной промышленности позволит им не только соответствовать формальным требованиям сертификационных аудитов, но и существенно повысить устойчивость производственной системы к внешним и внутренним шокам, обеспечив выполнение стратегических задач по импортозамещению и технологическому суверенитету.

Источники

1. Дли М.И., Булыгина О.В., Малевич Е.П., Яшин Е.С. Инструменты государственного управления рисками инновационных проектов импортозамещения // Путеводитель предпринимателя. 2024. Т. 17. № 4. С. 103–109.



2. IATF 16949:2016. Требования к системам менеджмента качества в автомобильной промышленности. 1-е изд. International Automotive Task Force, 2016. 174 p.

3. ГОСТ Р 51814.2-2001. Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. М.: Изд-во стандартов, 2001. 12 с.

4. Рей А.С. Комплексное оценивание интегрального риска сложной системы с учетом его структуры // Труды 18-й Всероссийской мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2025). Тула: ТулГУ, 2025. Т. 2. С. 91–94.

5. Alonso Fernández I., Panarotto M., Isaksson O. Modeling Technical Risk Propagation Using Field-Effects in Automotive Technology Infusion Design Studies // Journal of Mechanical Design. 2024. Vol. 146. No. 12. 121702.

6. AIAG & VDA FMEA Handbook. – 1st ed. Automotive Industry Action Group & Verband der Automobilindustrie, 2019. 246 p.

7. Ozdemir R., Sarigol I., Kula U., Kasap S. Order allocation to resilient suppliers in the presence of disruption risks // Journal of Industrial Engineering and Management. 2025. Vol. 18. No. 2. P. 112–128.

8. IATF 16949:2016 Clause 8.4.2.2 Statutory and regulatory requirements [Электронный ресурс]. URL: <https://preteshbiswas.com/2023/07/26/iatf-169492016-clause-8-4-2-2-statutory-and-regulatory-requirements/>

9. ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство. М.: Стандартинформ, 2020. 17 с.

10. IATF 16949:2016 Clause 8.4.1.2 Supplier selection process [Электронный ресурс]. URL: <https://preteshbiswas.com/2023/07/24/iatf-169492016-clause-8-4-1-2-supplier-selection-process/>

11. Risk-Based Thinking and the IATF 16949 Requirements Related to Risk [Электронный ресурс]. URL: <https://www.simpleque.com/risk-based-thinking-and-the-iatf-16949-requirements-related-to-risk/>

References

1. Dli M.I., Bulygina O.V., Malevich E.P., Yashin E.S. Instruments of state risk management of innovative import substitution projects // Entrepreneur's Guide. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – pp. 103-109.

2. IATF 16949:2016. Requirements for quality management systems in the automotive industry. – 1st ed. – International Automotive Task Force, 2016. – 174 p.

3. GOST R 51814.2-2001. Quality systems in the automotive industry. A method for analyzing the types and consequences of potential defects. Moscow: IPK Publishing House of Standards, 2001. 12 p.

4. Ray A.S. Comprehensive assessment of the integral risk of a complex system, taking into account its structure / Proceedings of the 18th All-Russian Multi-Conference on Management Problems (MCPU-2025). Tula: TulSU, 2025, vol. 2, pp. 91-94.

5. Alonso Fernández I., Panarotto M., Isaksson O. Modeling Technical Risk Propagation Using Field-Effects in Automotive Technology Infusion Design Studies // Journal of Mechanical Design. – 2024. – Vol. 146, No. 12. – 121702.

6. AIAG & VDA FMEA Handbook. – 1st ed. – Automotive Industry Action Group & Verband der Automobilindustrie, 2019. – 246 p.

7. Ozdemir R., Sarigol I., Kula U., Kasap S. Order allocation to resilient suppliers in the presence of disruption risks // Journal of Industrial Engineering and Management. – 2025. – Vol. 18, No. 2. – pp. 112-128.

8. IATF 16949:2016 Clause 8.4.2.2 Statutory and regulatory requirements [Electronic resource]. URL: <https://preteshbiswas.com/2023/07/26/iatf-169492016-clause-8-4-2-2-statutory-and-regulatory-requirements/>

9. GOST R ISO 31000-2019. Risk management. Principles and guidelines. Moscow: Standartinform, 2020. 17 p.

10. IATF 16949:2016 Clause 8.4.1.2 Supplier selection process [Electronic resource]. URL: <https://preteshbiswas.com/2023/07/24/iatf-169492016-clause-8-4-1-2-supplier-selection-process/>

11. Risk-Based Thinking and the IATF 16949 Requirements Related to Risk [Electronic resource]. URL: <https://www.simpleque.com/risk-based-thinking-and-the-iatf-16949-requirements-related-to-risk/>

Разработка основных требований к вертолетам-носителям беспилотных летательных аппаратов при патрулировании лесных массивов с использованием тепловизоров

Б.В. Бойцов,

д-р техн. наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ,
профессор Московского авиационного
института (НИУ); Москва

А.И. Ресинец,

канд. воен. наук, доцент,
доцент кафедр «Проектирование
вертолетов» и «Проектирование
самолетов и сертификации авиационной
техники» Московского авиационного
института (НИУ); Москва
e-mail: ResinetsAI@mail.ru

А.А. Ресинец,

старший преподаватель кафедр
«Проектирование самолетов и
сертификации авиационной техники»
и «Проектирование вертолетов»
Московского авиационного института
(НИУ); Москв

Г.А. Суворов

студент группы М10-605С-20 кафедры
«Проектирование вертолетов»
Московского авиационного института
(НИУ); Москва

Аннотация. Статья посвящена решению задачи оптимизации количества вертолетов, необходимых для борьбы с лесными пожарами. На основе математического моделирования процессов патрулирования территории вертолетами-носителями с беспилотными летательными аппаратами и скорости развития пожара определяется необходимое количество вертолетов различного назначения. В результате расчетов выявлен оптимальный

диапазон высот полета, минимизирующий время обнаружения очагов пожаров. На основе модели сформулирован комплекс тактико-технических требований к вертолетам-носителям, беспилотным летательным аппаратам и системе их взаимодействия.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, вертолет, пожар.

Abstract. This article addresses the problem of optimizing the number of helicopters required to fight forest fires. Mathematical modeling of patrolling by helicopters with unmanned aerial vehicles (UAVs) and the rate of fire development is used to determine the required number of helicopters for various purposes. The calculations revealed the optimal range of flight altitudes that minimizes fire detection time. Based on the model, a set of performance requirements for helicopters, UAVs, and their interaction systems is formulated.

Keywords: unmanned aerial vehicle, helicopter, fire.

В статье [1] описана схема применения вертолетов, оснащенных бортовыми тепловизорами и беспилотными летательными аппаратами (БПЛА), способных выполнять самостоятельное патрулирование лесных массивов на небольшом удалении от вертолета-носителя.

Данная статья посвящена решению задачи оптимизации количества необходимых вертолетов с БПЛА.

Постановка задачи. Предположим, существует территория, размерами $n \times n$ м, площадью S м², которую необходимо осмотреть на предмет пожара при помощи вертолета-носителя (ВН) и ликвидировать все источники возгорания. Гарантируется, что на данной площади существует минимум один источник возгорания площадью от 10 до 100 м². Для удобства расчетов введем параметр z , рав-



ный количеству источников пожара. Для решения задачи требуется x ВН, каждый из которых имеет на своем борту несколько БПЛА, а также имеется у пожарных вертолетов (в статье y_1 – количество вертолетов Ка-32А1, способных за один вылет доставить до 5 т воды, за y_2 – количество вертолетов Ка-226, способных доставить до 800 кг воды). Все пожарные вертолеты находятся на расстоянии L метров от зоны патрулирования, на аэродроме; ВН на момент решения задачи находятся на границах рассматриваемой области. Задача по патрулированию и тушению считается выполненной, если потушены все источники возгорания, а суммарная площадь сгоревшего леса составляет не более 5% и количество звеньев вертолетов, привлеченных для решения задачи не превышает 3 (12) вертолетов. Задача считается невыполненной, если 5% от указанной площади лесного массива уничтожено пожаром вне зависимости от количества задействованных вертолетов. Схема патрулирования для одного ВН приведена на рис. 1. Число n – натуральное, параметр n зависит только от первоначальных размеров территории.

Вычисление предельных значений параметров

За параметр a принята максимальная ширина полосы, которую способен осмотреть ВН при помощи бортового тепловизора. Для гарантированного осмотра всей полосы реальное значение параметра a будет уменьшено на 5%. Для высоты полета в 600 м этот показатель составляет 2100 м, с учетом уменьшения ширины полосы этот показатель со-

ставит 2000 м ровно [1]. Для произвольной высоты полета ВН h параметр a будет задаваться линейной функцией от высоты:

$$a = f(h[M]) = \frac{10 * h}{3} [M]$$

Значение высоты полета определяется исключительно условиями прямой видимости поверхности и высотой облаков. Максимальное значение высоты полета ограничено конструктивно возможностями ВН и мощностью тепловизора и составляет $h_{max} = 3000$ м. Минимальная высота полета составляет $h_{min} = 600$ м [2]. Следовательно, параметр a принадлежит диапазону $a \in [2000 \text{ м}; 10000 \text{ м}]$.

Параметр n можно выразить как:

$$n = \frac{3 * \sqrt{S}}{10 * h}.$$

При использовании ВН по схеме, приведенной на рис. 1, необходимое количество разворотов u составит: $u = n - x$.

При заданной скорости вертолета-носителя $V_{kp} = 210 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 58,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ время, затраченное на каж-

дый разворот, составит: $t_u = \frac{\pi * R_u}{V_{kp}}$ где R_u – радиус разворота, равный: $R_u = a$. Значит, время, затраченное на развороты, составит:

$$\sum t_u = \frac{\pi * R_u * u}{V_{kp}} = \frac{3,14 * \frac{10 * h}{3}}{58,3} * \left(\frac{3 * \sqrt{S}}{10 * h} - x \right) = f_1(x),$$

где $\sum t_u$ – суммарное время, потребное всем ВН на выполнение разворота.

Время для каждого ВН, затраченное на выполнение разворота, составит:

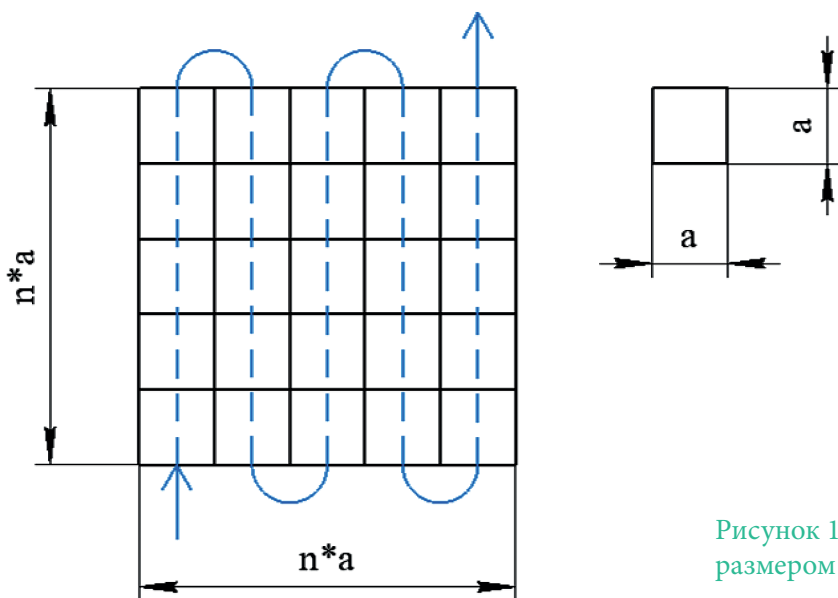


Рисунок 1. Схема патрулирования сектора размером $n \times n$ м одним ВН

$$t_u^{(1)} = \frac{\sum t_u}{x} = \frac{f_1(x)}{x} = t_1$$

Время, необходимое ВН на выполнение маршрута по прямолинейным участкам осмотра, составит:

$$\sum t_s = \frac{n * a * n}{V_{kp}} = \frac{3 * \sqrt{S} * 10 * h}{3} * \frac{3 * \sqrt{S}}{10 * h} = f_2(x)$$

где $\sum t_s$ – суммарное время, потребное всем ВН на выполнение прямолинейного полета.

Время для каждого ВН, затраченное на выполнение прямолинейного полета, составит:

$$t_s^{(1)} = \frac{\sum t_s}{x} = \frac{f_2(x)}{x} = t_2$$

Для обследования очага возгорания БПЛА необходимо провести следующий порядок операций [3]:

- отстыковка от ВН;
- снижение до гарантированной высоты (240 м);
- оптимальное обследование пожара;
- набор высоты до уровня ВН;
- стыковка с ВН.

Без учета времени, необходимого на отстыковку и пристыковку БПЛА, время на снижение и набор высоты составит:

$$t_{с и н} = \frac{2 * (h - 240)}{V_{с к о р}}$$

где $V_{с к о р}$ – средняя скорость снижения и набора высоты для БПЛА, описанных в статье [1], составляет $V_{с к о р} = 7 \frac{м}{с}$. При условии, что горизонтальная скорость БПЛА составляет $V_{БПЛА} = 23 \frac{м}{с}$, а площадь очага возгорания $S_{возг}$ находится в пределах от 10 до 100 м², время на полный облет очага возгорания составит:

$$t_{об} = \frac{2 * \sqrt{\pi * S_{возг}}}{V_{БПЛА}} = \frac{\sqrt{\pi * 100}}{23} = 1,54 с.$$

Если же очаг возгорания перерос в малый пожар ($S_{мп} \leq 20$ га), то потребное время составит:

$$t_{об} = \frac{2 * \sqrt{\pi * S_{мп}}}{V_{БПЛА}} = \frac{\sqrt{\pi * 200000}}{23} = 68,93 с.$$

Среднее время облета одного очага возгорания составляет 35 с, значит, время, необходимое на полный цикл «спуск – облет – набор высоты» для БПЛА составит:

$$t_{БПЛА} = t_{с и н} + t_{об} = \frac{2 * (h - 240)}{V_{с к о р}} + 35 = \frac{2 * h - 235}{7} = t_3$$

Суммарное время, необходимое на обнаружение и фиксацию каждого очага возгорания, составит: $\sum t = t_1 + t_2 + z * t_3$.

С учетом использования нескольких ВН время для полного патрулирования территории составит:

$$t_{ВН} = \frac{t_1 + t_2 + z * t_3}{x}$$

Это означает, что среднее время обнаружения одного источника возгорания и передачи данных о

$$нем составит: t_{ВН} = \frac{t_1 + t_2 + z * t_3}{x * z}$$

После этого вертолеты, предназначенные для тушения, получают приказ на полет в зону пожара для его тушения.

При допущении, что низовой лесной пожар происходит при влажности воздуха до 30%, прира-

щение пожара составит: $dS = 0,13 \frac{м^2}{с}$ [4]. Время от получения задания до вылета вертолетов составляет $t_p = 900$ с. Для тушения 1 м² необходимо 0,3 кг воды.

Время, необходимое на полет с аэродрома до центра сектора патрулирования, для вертолетов составит:

$$t_n = \frac{L}{58,3}$$

Для тушения пожара площадью S_n требуется $0,3 * S_n$ кг воды. Для доставки при использовании

вертолетов Ка-32А1 необходимо: $t_n = \frac{L}{58,3}$ для вертолетов Ка-226 этот показатель составляет: $y_2 = \frac{0,3 * S_n}{800}$.

Время полного цикла тушения будет складываться из:

- времени, необходимого для выявления очагов пожара;
- времени, необходимого на полет вертолетов в зону пожара.

Время, необходимое на обнаружение всех

источников, составляет: $t_{ВН} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{x * z} * z$; время, необходимое для полета в зону тушения пожара

составит: $t_n = \frac{L}{58,3} + 900$, за это время пожаром будет пройдено $dS_n = 0,13 * t_n$, где $t_n = t_{ВН} + t_n$ – время обследования территории и реализации мер по ликвидации возгорания.

Параметр ρ_z – плотность очагов возгорания на определенной площади, с округлением до целого числа. Данные из открытых источников указывают на то, что в среднем один очаг возгорания прихо-

дится на 200 км² [1]. Параметр $z = S * \rho_z = \frac{S}{2 * 10^8}$.

Исходя из условия, суммарное количество вертолетов всех типов составит: $x + y_1 = 12$. Зависимость будет выглядеть следующим образом:

$$0,3 * dS_n * z + x = 12$$



$$\frac{0,3 * 0,13 * \left(\frac{t_1 + t_2 + t_3}{x} + \frac{L}{58,3} + 900 \right) * z}{5000} + x = 12$$

Функция будет иметь вид:

$$0,3 * 0,13 * z * \left(\frac{\frac{3,14 * \frac{10 * h}{3} * \left(\frac{3 * \sqrt{S}}{10 * h} - x \right) + \frac{3 * \sqrt{S}}{10 * h} * \frac{10 * h}{3} * \frac{3 * \sqrt{S}}{10 * h} + z * (2 * h - 235)}{58,3}}{x} \right) \frac{1}{5000} + x = 12$$

Решением данного уравнения будет необходимое количество ВН и следующее из них количество вертолетов, предназначенных для тушения. В качестве примера в *табл. 2* приведем результат расчета для данных, приведенных в *табл. 1*.

Таблица 1. Данные для расчетов

Параметр	Обозначение	Значение
Высота полета ВН, м	h	1200
Площадь патрулирования, м ²	S	109
Количество очагов, шт.	z	5
Удаленность аэродрома базирования, м	L	200 000

Таблица 2. Количество вертолетов различного назначения

Параметр	Обозначение	Значение
Количество ВН (в паре с Ка-32А1), шт.	x	11,82
Количество Ка-32А1, шт.	y_1	0,18
Время полного осмотра территории, с	t	1830
Площадь, пройденная пожаром, м ²	$S_{\text{пж}}$	1190
Количество воды, необходимое для тушения, кг	$m_{\text{воды}}$	360
Количество ВН (в паре с Ка-226), шт.	x	11
Количество Ка-226, шт.	y_2	1
Время полного осмотра территории, с	t	1876
Площадь, пройденная пожаром, м ²	$S_{\text{пж}}$	1219
Количество воды, необходимое для тушения, кг	$m_{\text{воды}}$	370

В *табл. 2* количество вертолетов Ка-32А1 получилось дробным из-за того, что грузоподъемность вертолета для тушения 1190 м² избыточна, в дальнейшем будем считать, что минимально возможное количество вертолетов каждого типа не может

быть меньше единицы, а количество вертолетов обязано быть целым.

Для уменьшения требуемого количества вертолетов проведем аналогичные вычисления для ограничения в 2 звена (8 вертолетов) и одно звено (4 вертолета). Для унификации вертолетного парка и возможности быстрого переоборудования ВН в ВТ и обратно будем рассматривать в качестве ВТ исключительно вертолеты Ка-226. Результаты для данных, приведенных в *табл. 1*, будут представлены в *табл. 3*.

Таблица 3. Количество вертолетов различного назначения

Параметр	Обозначение	Значение
Количество ВН (при 8 вертолетах), шт.	x	7
Количество Ка-226, шт.	y_2	1
Время полного осмотра территории, с	t	2187
Площадь, пройденная пожаром, м ²	$S_{\text{пж}}$	1421
Количество воды, необходимое для тушения, кг	$m_{\text{воды}}$	430
Количество ВН (при 4 вертолетах), шт.	x	3
Количество Ка-226, шт.	y_2	1
Время полного осмотра территории, с	t	3328
Площадь, пройденная пожаром, м ²	$S_{\text{пж}}$	2163
Количество воды, необходимое для тушения, кг	$m_{\text{воды}}$	650

Исходя из данных, приведенных в *табл. 2* и *3*, количество воды, необходимой для тушения, оказывается меньше 800 кг, что требует только одного вылета ВТ, без необходимости набора воды дополнительно.

Для оценки зависимости итоговых параметров от высоты проведем расчет требуемого количества вертолетов для общего количества в 1 и 2 звена на высотах 600, 1200, 1800, 2400 и 3000 м. Данные будут представлены в *табл. 4*.

Как видно из данных *табл. 4*, с увеличением высоты полета наблюдается рост времени, необходимого для патрулирования заданной территории, что в свою очередь ведет к увеличению расчетной площади пожара. Данная зависимость объясняется тем, что при больших высотах БПЛА требуется больше времени на снижение к очагу возгорания и последующий набор высоты для возвращения к носителю. В то же время при слишком малой высоте полета ВН сокращается ширина контролируемой полосы, что увеличивает продолжительность пол-

Таблица 4. Количество вертолетов различного назначения в зависимости от высоты полета

Параметр	Обозначение	Значение				
Высота полета ВН, м	h	600	1200	1800	2400	3000
Количество ВН (при 8 вертолетах), шт.	x	7	7	7	7	7
Количество ВТ, шт.	y_2	1	1	1	1	1
Время полного осмотра территории, с	t	2050	2187	2732	3379	4068
Площадь, пройденная пожаром, м ²	$S_{пт}$	1333	1421	1776	2197	2644
Количество воды, необходимое для тушения, кг	$m_{воды}$	400	430	530	660	790
Количество ВН (при 4 вертолетах), шт.	x	2	3	3	3	2
Количество ВТ, шт.	y_2	2	1	1	1	2
Время полного осмотра территории, с	t	5721	3328	3601	4112	5288
Площадь, пройденная пожаром, м ²	$S_{пт}$	3719	2163	2341	2673	3438
Количество воды, необходимое для тушения, кг	$m_{воды}$	1120	650	700	800	1030

Зависимости от общего количества вертолетов, $h = 1500$ м

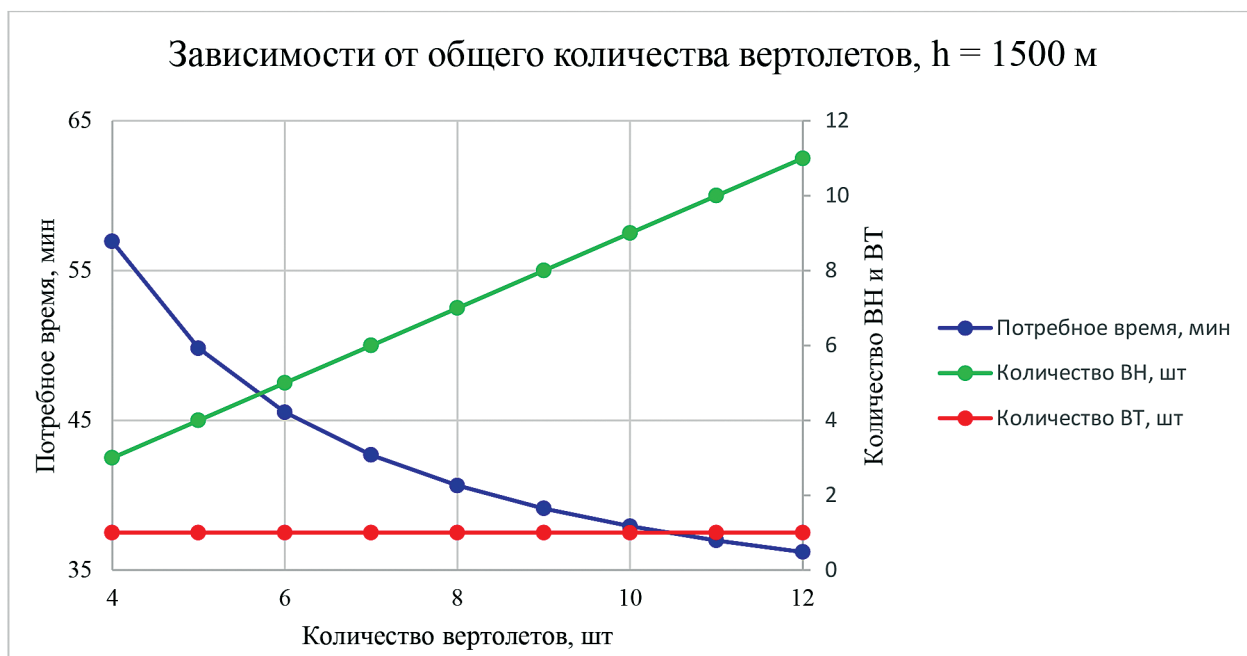


Рисунок 2. Зависимости времени и количества ВН и ВТ от общего количества вертолетов

ного обследования всей площади. Таким образом, анализ модели указывает на наличие оптимального диапазона высот, составляющего приблизительно 1200–1800 м, при котором достигается баланс между шириной обзора и временными затратами на работу БПЛА.

Определение оптимального количества ВН

Для высоты полета ВН в 1500 м и площади 1000 км² потребное количество ВН и ВТ, в зависимости от общего числа вертолетов, приведено на рис. 2.

Исходя из рис. 2 целесообразной будет организация звеньев по 4 вертолета (3 ВН и 1 ВТ). В результате такого распределения эскадрилья, состоя-

щая из четырех звеньев, способна провести осмотр и ликвидацию очагов возгорания на общей площади 4000 км² за 57 мин. Если для патрулирования площади в 1000 км² будет использовано 2 звена (7 ВН и 1 ВТ), то для площади в 4000 км² потребуется 82 мин, что говорит о преимуществе однозвенной организации (3 ВН и 1 ВТ). Зависимость необходимого времени от количества вертолетов и высоты полета ВН приведена на рис. 3.

Как видно из рис. 3, необходимое время для четырех вертолетов для высот 1200 и 1500 м составляет соответственно 55 и 57 мин. Но при полете на высоте 1500 м ширина полосы осмотра будет больше, а расстояние, пройденное вертолетом, меньше, поэтому, несмотря на большее время, наиболее эф-

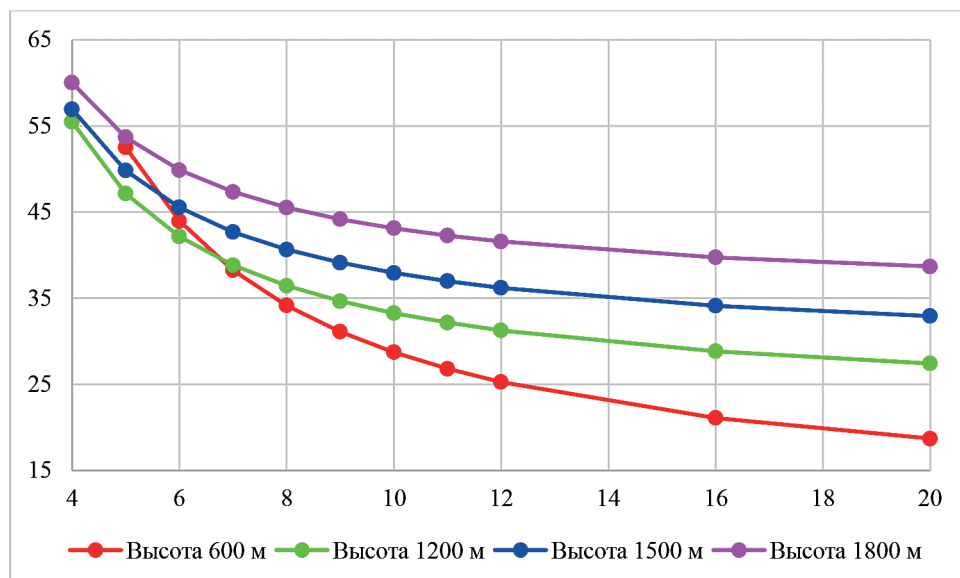


Рисунок 3. Зависимости времени от общего количества вертолетов для разных высот¹

фективной будет выбрана высота 1500 м при количестве вертолетов 4 единицы.

Формирование требований к ВН и БПЛА

Исходя из расчетов, полученных в п. 2, к ВН, БПЛА и связке ВН – БПЛА могут быть предъявлены следующие требования.

К вертолету-носителю:

а ЛТХ

i Практическая дальность полета должна составлять не менее 450 км для обеспечения доставки группы БПЛА в удаленные районы и последующего патрулирования, а также для возвращения на аэродром базирования без дозаправки;

ii крейсерская скорость полета должна находиться в диапазоне 200–220 км/ч;

iii конструкция должна обеспечивать высокий коэффициент полезного действия (КПД) на режиме висения для стабильного и безопасного проведения операций по выпуску и приему БПЛА;

iv статический потолок должен составлять не менее 3000 м для обеспечения широкой полосы обзора [5];

б Эксплуатационные требования:

i конструкция вертолета должна быть модульной, позволяющей осуществлять быстрое переоборудование между конфигурациями:

– вертолет-носитель с оборудованием для работы с БПЛА;

– вертолет тушения с системами для тушения;

– транспортный вариант для переброски личного состава (ЛС) и оборудования или эвакуации мирного населения;

ii вертолет должен обладать способностью к базированию и работе с неподготовленных площадок (грунтовых);

iii конструкция должна иметь модернизируемый задел для интеграции нового оборудования;

iv оптимальная стоимость жизненного цикла;

v высокий межремонтный ресурс основных агрегатов и систем, возможность проведения части работ по ремонту на аэродроме базирования;

с Требования к дополнительному оборудованию:

i обязательное наличие кислородного оборудования для полетов на высоте более 2 км;

ii наличие бортового тепловизора с разрешением матрицы не менее 2560 × 2048;

iii наличие бортового вычислительного комплекса для обработки снимков в режиме реального времени [6];

iv ВТ должны иметь возможность сброса частичного объема огнегасящей жидкости для тушения нескольких пожаров за один вылет.

К БПЛА:

а ЛТХ:

i дальность полета не менее 20 км;

ii крейсерская скорость полета в диапазоне 60–100 км/ч;

iii статический потолок не менее 3000 м;

б Эксплуатационные требования:

i конструкция должна предусматривать быструю замену элементов, таких как аккумуляторная батарея и винтомоторная группа, на борту ВН;

ii БПЛА должен обладать способностью к самостоятельной пространственной ориентации, стабилизации и переходу в рабочий режим непосредственно после сброса/выпуска с борта ВН;

iii БПЛА должен обладать способностью обеспечивать точную посадку в заданную координатную точку и (или) посадку в указанную геометку;

iv возможность работы как по заранее загруженному полетному заданию, так и под управлением оператора;

v низкая стоимость одного БПЛА для обеспечения массового применения и снижения финансовых рисков при потере;

vi система управления и связи должна обладать высокой помехозащищенностью и использовать несколько резервированных каналов;

iv дальность устойчивой командной связи и передачи телеметрии с БПЛА должна составлять не менее 5 км [7].

К системе ВН – БПЛА:

i Система должна обеспечивать минимальное время приведения в готовность к работе после прибытия в заданный район;

ii устойчивая, помехозащищенная связь для обмена данными и координации между всеми ВН в звене даже при условиях радиоэлектронного противодействия и работе в насыщенной радиоэлектронной обстановке;

iii наличие возможности запускать БПЛА для самостоятельного осмотра территории с их последующим возвращением на любой из ВН;

iv единая система централизованного управления ВН и ВТ, обеспечивающая согласованность действий;

v непрерывный контроль за всей группировкой БПЛА, развернутой в районе патрулирования;

vi система должна обеспечивать бесперебойную устойчивую работу группировки БПЛА, одновременно запущенных с нескольких ВН, гарантируя отсутствие взаимных помех и конфликтов в директивных каналах управления;

vii система должна обеспечивать быструю передачу управления БПЛА другому ВН, находящемуся на более выгодной позиции для осуществления управления;

viii система не должна допускать случайного «перехвата» управления;

ix система должна обеспечивать возможность сопровождения БПЛА, направленного к месту посадки, с возможностью изменения конечной цели в процессе полета на любом удалении от ВН.

Проведенный анализ позволил определить необходимое количество вертолетов и высоту их применения. Наибольшая теоретическая эффективность патрулирования достигается при использовании звена из трех вертолетов-носителей и одного пожарного вертолета. В случае разработки пожарного вертолета типа Ка-226 эффективностькратно возрастет за счет унификации вертолетного парка.

Примечание

1. При использовании звена из 4 вертолетов на площади 1000 км² и высоте полета 600 м количество ВН и ВТ оказывается недостаточным для решения поставленной задачи.

Источники

1. Бойцов Б.В., Ресинец А.И., Ресинец А.А., Суворов Г.А. Повышение качества и эффективности совместного применения вертолетов и беспилотных летательных аппаратов при патрулировании лесных массивов на предмет выявления очагов пожаров и их ликвидации.

2. Инструкция по авиационной охране лесов от 22 сентября 1997 г. № 122 (п. 4.1.19) [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902058480>

3. Дивеев А.И., Коньрбаев Н.Б. Управление группой квадрокоптеров методом вариационного аналитического программирования // Труды МАИ. 2017.

4. Бахтиярова О.Н. Методика расчета скорости распространения пожара с учетом влияния скорости ветра и рельефа местности // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2018. № 1(36). С. 62–68.

5. РЛЭ Ка-226 [Электронный ресурс]. URL: <https://shop-5ocean.ru/upload/iblock/153/m7vghp3650vknntwcjr0saomh2571u3h.pdf>

6. Катаев М.Ю., Карташов Е.Ю., Гейко П.П. Обнаружение лесных пожаров по изображениям, полученных с БПЛА // Доклады ТУСУР. 2023. Т. 26. № 3.

7. Замятин П.А. Системы управления беспилотными летательными аппаратами // Инновационная наука. 2020. № 4. С. 37–42.

References

1. Boytsov B.V., Resinets A.I., Resinets A.A., Suvorov G.A. Improving the Quality and Efficiency of the Joint Use of Helicopters and Unmanned Aerial Vehicles in Patrolling Forest Areas to Detect and Eliminate Fires.

2. Instructions for Aviation Protection of Forests dated September 22, 1997, No. 122 (clause 4.1.19) [Electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902058480>

3. Diveev A.I., Konyrbaev N.B. Controlling a Group of Quadcopters Using Variational Analytical Programming // Proceedings of MAI. 2017.

4. Bakhtiyarova O.N. Methodology for Calculating the Speed of Fire Spread Taking into Account the Influence of Wind Speed and Terrain // Scientific and Educational Problems of Civil Defense. 2018. No. 1(36). P. 62–68.

5. Ka-226 Flight Manual [Electronic resource]. URL: <https://shop-5ocean.ru/upload/iblock/153/m7vghp3650vknntwcjr0saomh2571u3h.pdf>

6. Kataev M. Yu., Kartashov E. Yu., Geiko P. P. Detection of Forest Fires Based on Images Obtained from UAVs // TUSUR Reports. 2023. Vol. 26. No. 3.

7. Zamyatin P. A. Control Systems for Unmanned Aerial Vehicles // Innovative Science. 2020. No. 4. P. 37–42.



Сравнительный анализ характеристик цельнометаллического и металлокомпозитного фюзеляжей перспективного легкого вертолета

Б.В. Бойцов,

д-р техн. наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ,
профессор Московского авиационного
института (НИУ); Москва

А.И. Ресинец,

канд. воен. наук, доцент,
доцент кафедр «Проектирование
вертолетов» и «Проектирование
самолетов и сертификации авиационной
техники» Московского авиационного
института (НИУ); Москва
e-mail: ResinetsAI@mail.ru

А.А. Ресинец,

старший преподаватель кафедр
«Проектирование самолетов и
сертификации авиационной техники»
и «Проектирование вертолетов»
Московского авиационного института
(НИУ); Москв

М.И. Тилинин,

аспирант «Проектирование вертолетов»
Московского авиационного института
(НИУ), Москва; инженер-конструктор
АО «НЦВ Миль и Камов» г. Люберцы

Е.С. Данилов

инженер-конструктор 2 категории,
АО «НЦВ Миль и Камов»; г. Люберцы

Аннотация. В статье основное внимание уделено сравнительному анализу подходов к конструированию обшивок из ПКМ и алюминия по критерию массы и прочности.

Ключевые слова: композитные материалы, вертолет, фюзеляж, обшивка, конечно-элементная модель, нормы летной годности.

Summary. The article focuses on a comparative analysis of approaches to the construction of coatings made of PCM and aluminum according to the criteria of weight and strength.

Keywords: composite materials, helicopter, fuselage, skin, finite element model, airworthiness standards.

Современное вертолетостроение предъявляет повышенные требования к массовой эффективности и прочностным характеристикам конструкций. Одним из перспективных направлений развития является применение полимерных композиционных материалов (ПКМ), позволяющих снизить массу планера без ущерба для прочности.

Особую актуальность эта задача приобретает при проектировании легких вертолетов, где снижение массы напрямую влияет на летно-технические характеристики. Однако простое замещение металлических элементов композитными требует тщательного анализа и обоснования.

Целью работы является сравнительная оценка прочностных и массовых характеристик цельнометаллического и металлокомпозитного вариантов фюзеляжа. В задачи исследования входит разработка эталонной конструкции, создание конечно-элементных моделей, проведение прочностных расчетов и сравнительный анализ результатов.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов при проектировании новых и модернизации существующей вертолетной техники.

В рамках данного исследования будут сравниваться следующие варианты конфигурации конструкции фюзеляжа:

- цельнометаллический фюзеляж;
- комбинированная схема – использование металлических элементов совместно с композитными.

Сравнение проводится между цельнометаллическим и комбинированным вариантом фюзеляжа, где композитные материалы применяются выборочно для конкретных элементов, таких как обшивка, хвостовая балка, узлы ее крепления и обтекатели. Такой

подход исключает из рассмотрения полностью композитный фюзеляж, поскольку его конструкция в корне отличается от цельнометаллической. Полная замена силового набора на композитный потребовала бы создания принципиально новой, а не модифицированной силовой схемы, что выходит за рамки исследования, а также не является целесообразной стратегией конструирования [1].

Проведение корректного сравнения между цельнометаллической и гибридной конструкцией (металлокомпозитной) возможно лишь при условии их геометрической и прочностной идентичности [2–4]. Использование же для сравнения полностью композитного фюзеляжа, оптимизированного под анизотропные свойства материала, сделало бы такое сравнение методологически некорректным.

Применение композиционных материалов в силовом каркасе фюзеляжа до настоящего времени не получило повсеместного распространения. В авиастроении такие решения реализованы лишь в единичных случаях: у самолета Boeing 787 большая часть фюзеляжа выполнена из ПКМ, на Airbus A380 несколько шпангоутов изготовлены из полимерных композитов, а у вертолета S-75 доля ПКМ составляет примерно 82% массы конструкции фюзеляжа [1].

Несмотря на ограниченное применение, разработки в области создания полностью композитных фюзеляжей продолжают. В настоящее время заключительный этап летных испытаний проходит вертолет от компании Kopter Group – AW09 (рис. 1), фюзеляж которого полностью выполнен из ПКМ

[5]. Такая конструкция представляет значительный интерес с точки зрения использования композиционных материалов.

Такое медленное развитие использования ПКМ в конструкциях фюзеляжа обусловлено рядом причин.

1. Анизотропия КМ – свойства материала значительно меняются в зависимости от направления приложения нагрузки. Поскольку силовые элементы конструкции воспринимают весь спектр нагрузок: распределенные аэродинамические, распределенные массовые, сосредоточенные нагрузки, то становится весьма сложно, а порой и невозможно подобрать такую ориентацию волокон, чтобы материал мог воспринимать указанные выше нагрузки в течение назначенного ресурса с достаточным запасом прочности.

2. Сильное влияние на механические свойства КМ оказывают условия эксплуатации ВС, а также температурно-временные факторы. Изделия из КМ в большей степени, чем металлические, подвержены разрушающему агрессивному влиянию температур и внешних условий.

3. Стремительный рост объема воздушных перевозок по всему миру, непрерывное увеличение количества новых ВС, нехватка квалифицированного летного и инженерно-технического персонала и большая цена ошибки при расчете на прочность силовых элементов из КМ на этапе проектирования.

4. Низкая ударная вязкость изделий из КМ, их гигроскопичность (способность впитывать воду,



Рисунок 1. AW09 компании Kopter Group



которая, замерзая при низких температурах, разрывает слои материала), токсичность, низкая эксплуатационная технологичность (большая продолжительность и трудоемкость ремонта).

5. Значительная стоимость изделий из КМ. Несмотря на то что КМ находят все более широкое применение, они остаются более дорогими, чем металлические изделия из-за высокой стоимости исходного сырья и более сложного производственного цикла. Это в конечном счете увеличивает конечную стоимость ВС.

Выбор в пользу комбинированного варианта позволяет оценить реальный практический потенциал композитов для модернизации существующих металлических конструкций вертолетов [6]. Данный подход обеспечивает чистоту исследования и дает точное понимание того, какой массовый и прочностной эффект дает интеграция композитных элементов в традиционную металлическую конструкцию.

На базе фюзеляжа перспективного легкого вертолета разработан теоретический контур эталонной конструкции (рис. 2), который сохраняет общие габариты и компоновочные решения, но обладает унифицированным силовым набором. Данный набор будет выполнен из алюминиевых сплавов и останется неизменным для обоих сравниваемых вариантов: цельнометаллического и комбинированного. Это обеспечит корректность последующего сравнения.

Вес фюзеляжа вертолета составляет примерно 8–12% от взлетной массы вертолета и 30–40% от веса планера [2, 3, 6]. Вес обшивки в среднем составляет 15–30% от массы фюзеляжа и 3–8% от взлетной массы. В нынешних условиях, оптимизация массы вертолета даже на 1%, с учетом экономической и технологической целесообразностей, является приемлемым и достаточно обоснованным для применения ПКМ в элементах обшивок вертолета, поэтому основным элементом из ПКМ в первую очередь является именно обшивка [7–10]. В данном случае в понятие обшивки входят такие элементы, как обшивка центральной части фюзеляжа, обшивка хвостовой балки, капоты двигателя и редуктора, обтекатель носовой части фюзеляжа, а также панели пола кабины.

Также следует рассматривать возможность использования МПКМ. Конкретное применение будет рассмотрено в конструкциях панелей фюзеляжа, противопожарных перегородок, панелей пола, передних кромок несущих поверхностей [11].

В табл. 1 представлен перечень элементов конструкции, заменяемых на композитные.

По результатам проектирования фюзеляжа масса заменяемых элементов, выполненных из Д16, составляет 48,2 кг, масса этих же элементов, выполненных из ПКМ, составляет 36,7 кг. Снижение массы составляет 24%.

Методика построения модели и расчета представлена в блок-схеме (рис. 3).

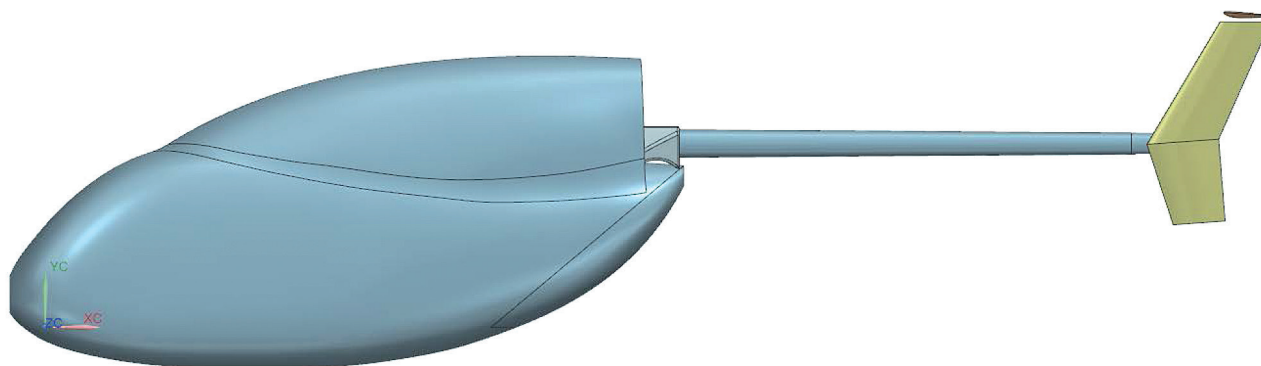


Рисунок 2. Теоретический контур эталонной конструкции фюзеляжа

Таблица 1. Перечень элементов конструкции, заменяемых на композитные

Наименование элемента	Материал в комбинированном варианте
Обшивка хвостовой балки (ХБ)	Углепластик
Обшивка центральной части фюзеляжа	Стеклопластик
Носовая часть фюзеляжа (обтекатель)	Стеклопластик или углепластик
Капоты (двигателя, редуктора)	Стеклопластик
Консоль	Стеклопластик
Обтекатели	Углепластик

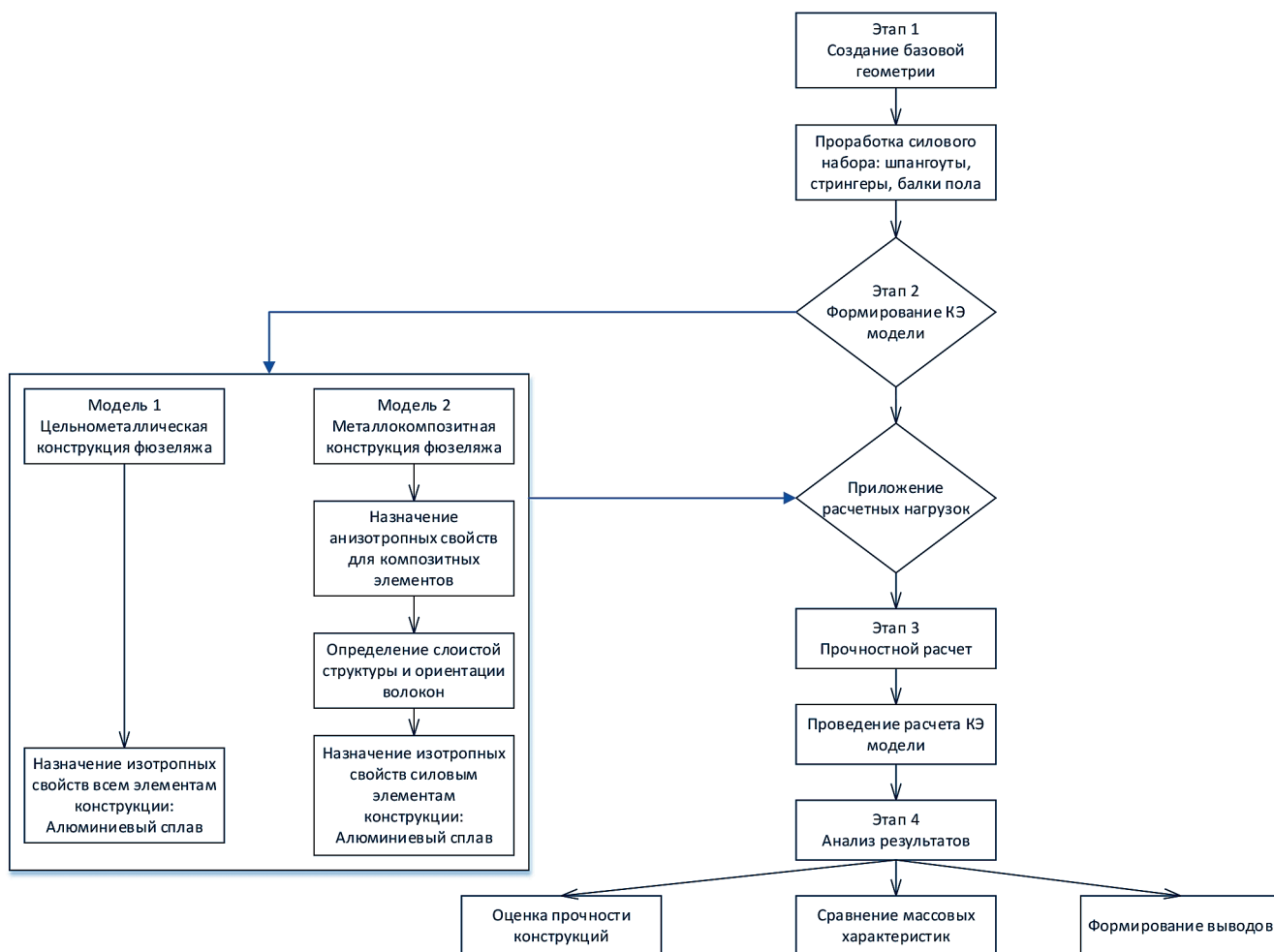


Рисунок 3. Методика построения модели и расчета

Первый этап исследования, которое включает в себя детальную проработку силовых элементов (шпангоутов, стрингеров и лонжеронов), предполагает построение эталонной конструкции фюзеляжа вертолета-прототипа, [12, 13].

На втором этапе на основе созданной геометрии строится конечно-элементная модель (КЭМ). Важной деталью является использование единой сетки для расчетов как цельнометаллического, так и металлокомпозитного вариантов конструкции. Сетка для моделей изменяться не будет в отличие от свойств коллекторов сетки, таким образом, получится рассчитать обе конструкции фюзеляжа без необходимости перестраивать сетку.

Третий этап включает проведение прочностного расчета обеих моделей в идентичных условиях нагружения. На четвертом, заключительном, этапе производится анализ результатов расчетов, основным критерием которого являются:

- анализ на устойчивость, в частности оценка сопротивления потере устойчивости клеток обшивки;
- сравнение массовых характеристик;

- сравнение запасов статической прочности.

Таким образом, предложенная методика позволяет на основе единой эталонной конструкции провести прямое сравнение двух концепций – традиционной металлической и перспективной комбинированной – и количественно оценить выигрыш в массе и изменение прочностных характеристик от внедрения композитных материалов в конкретные элементы планера.

Конечно-элементная модель построена преимущественно из 2D-оболочечных конечных элементов типа Shell. Элементам данного типа назначена расчетная толщина, соответствующая толщине моделируемых листовых конструкций обшивки и крупных панелей. Подкрепляющие элементы силового набора – стрингеры и лонжероны – представлены балочными 1D-элементами типа Beam. Для каждого балочного элемента заданы геометрические характеристики поперечного сечения. Сосредоточенные массы агрегатов и оборудования учтены с помощью 0D-элементов.

Модель не является цифровым двойником настоящей конструкции и представляет собой упро-



ценную, с сильными допущениями, модель. В связи с задачей исследования – оценкой общей прочности и массы – в модели не детализированы соединения в заклепках, элементы интерьера и вспомогательные кронштейны. Такой подход обеспечивает достаточную точность для решения задач статической прочности и анализа устойчивости при приемлемых вычислительных затратах.

Общий вид КЭМ представлен на рис. 4.

В качестве основного материала для сравнения с полимерными композиционными материалами (ПКМ) [14] выбран алюминиевый сплав Д16. Для анализа были отобраны два типа ПКМ: стекло- и углепластик.

Для обеспечения репрезентативности сравнения материалы выбраны из каталога Всероссийского научно-исследовательского института авиационных материалов (ВИАМ) [15]. Подбор включал:

- материалы с максимальными прочностными и жесткостными характеристиками в одном направлении;
- материалы с более сбалансированными свойствами в двух направлениях.

В качестве расчетных случаев (РС) были выбраны маневренные случаи нагружения, согласно НЛГ 27 [16]. В целях сокращения времени расчета и в отсутствие целесообразности проводить расчеты на большее количество РС были выбраны 2 расчетных случая: «горка» и «скольжение».

Маневренный случай «горка» соответствует нагружению вертолета по п. 27.337 НЛГ 27.

При маневре «горка» во время горизонтального полета с помощью органов управления создается положительный угол тангажа, вертолет летит вверх, уменьшается скорость полета, затем вертолет переходит в режим горизонтального полета. В ходе данного маневра достигается максимальное значение перегрузки n_y в центре тяжести вертолета.

Маневренный случай «условия скольжения» соответствует нагружению вертолета нагрузками, заданными по п. 27.351(с) НЛГ 27. Рассмотрены

два случая маневра – «правое скольжение» и «левое скольжение».

При маневре «скольжение правое» во время горизонтального полета резко перемещается левая педаль путевого управления до достижения устойчивого угла скольжения $\beta = (-15^\circ)$ (фаза – I), затем педаль резко возвращается в нейтральное положение (фаза – II).

При маневре «скольжение левое» во время горизонтального полета резко перемещается правая педаль путевого управления до достижения устойчивого угла скольжения $\beta = +15^\circ$ (фаза – I), затем педаль резко возвращается в нейтральное положение (фаза – II).

В связи с симметричностью конструкции было выбрано «скольжение левое».

Были рассчитаны конструкции фюзеляжей в следующей конфигурации:

1. Цельнометаллический фюзеляж (Д16).
2. Металлокомпозитный фюзеляж:
 - 2.1. Силовой каркас (шпангоуты и лонжероны) выполнены из алюминия (Д16).
 - 2.2. Обшивка центральной части фюзеляжа выполнена из ПКМ стеклопластик (КМКС-1.80.Т10) – укладка происходит в 4 слоя – до 0,5 мм.
 - 2.3. Пол выполнен из сэндвич-панели (углепластик ВСП-3М/3101 + Д16 + углепластик ВСП-3М/3101) – толщина 1 мм.
 - 2.4. Консоль выполнена из ПКМ-стеклопластика (АСМ 102-G290S) – толщина 0,66 мм, укладка в 3 слоя под 90° .
 - 2.5. Обшивка хвостовой балки выполнена из ПКМ-углепластика (ВСП-3М/3101) – толщина 0,9 мм.



Рисунок 4. Общий вид КЭМ

Были рассчитаны запасы прочности конструкции. На рис. 5 и 6 представлены напряженно-деформированные состояния (НДС) цельнометаллической конструкции в каждом РС.

По результатам расчета были определены запасы прочности по критерию Хилла конструкции фюзеляжа.

На рис. 7–10 представлены результаты расчета металлокомпозитной конструкции.

По результатам расчета были определены напряженно-деформированное состояние (НДС) конструкции фюзеляжа.

В табл. 2 представлено итоговое сравнение конструкций по критериям максимальных напряжений.

Таблица 2. Итоговое сравнение конструкций по критериям максимальных напряжений

РС	Запас прочности конструкции	
	Металл	ПКМ
«Горка»	1,03	1,01
«Скольжение левое»	2,87	2,05

На основе анализа результатов расчета двух вариантов конструкции фюзеляжа можно сделать следующие выводы.

1. Металлокомпозитная конструкция сохранила требуемые запасы статической прочности ($\eta \geq 1.01$) во всех рассмотренных расчетных случаях. Хотя в случае «скольжение левое» запас прочности у композитного варианта (2,05) ниже, чем у цельнометаллического (2,87), он остается в допустимых пределах и свидетельствует о выполнении условия прочности.

2. Главным преимуществом металлокомпозитной конструкции является снижение массы заменяемых элементов на 24% (с 48,2 до 36,7 кг).

Таким образом, замена части металлических элементов на композитные позволяет создать конструкцию, сохраняющую требуемую прочность при значительном снижении массы, что подтверждает эффективность выбранного подхода для модернизации вертолетной техники.

Была проведена оценка массовых характеристик обеих конструкций. По результатам анализа были построены сравнительные столбчатые диаграммы (рис. 11).

Согласно результатам, снижение массы составляет 12%. Из узкой выборки элементов (стрингеры, уголки, установка консоли, обшивка, оперение, шпангоуты) для замены материа-

poemi_shasi_fem1_sim1 : 101 Результат
Gorka_4, Статический шаг 1
Напряжение - По элементам/узлам, Элемент-значение, Центроид, По Мизесу
Сечение балки : Максимум, Сечение оболочки : Максимум
Мин. : 0.00, Макс. : 138.12, Единицы = кгс/мм²
СК : Абсолютная прямоугольная, СК балки : Локальные
Деформация : Перемещение - По узлам Величина



[кгс/мм²]

Запас прочности:

$$\eta = 41/40 = 1,03$$

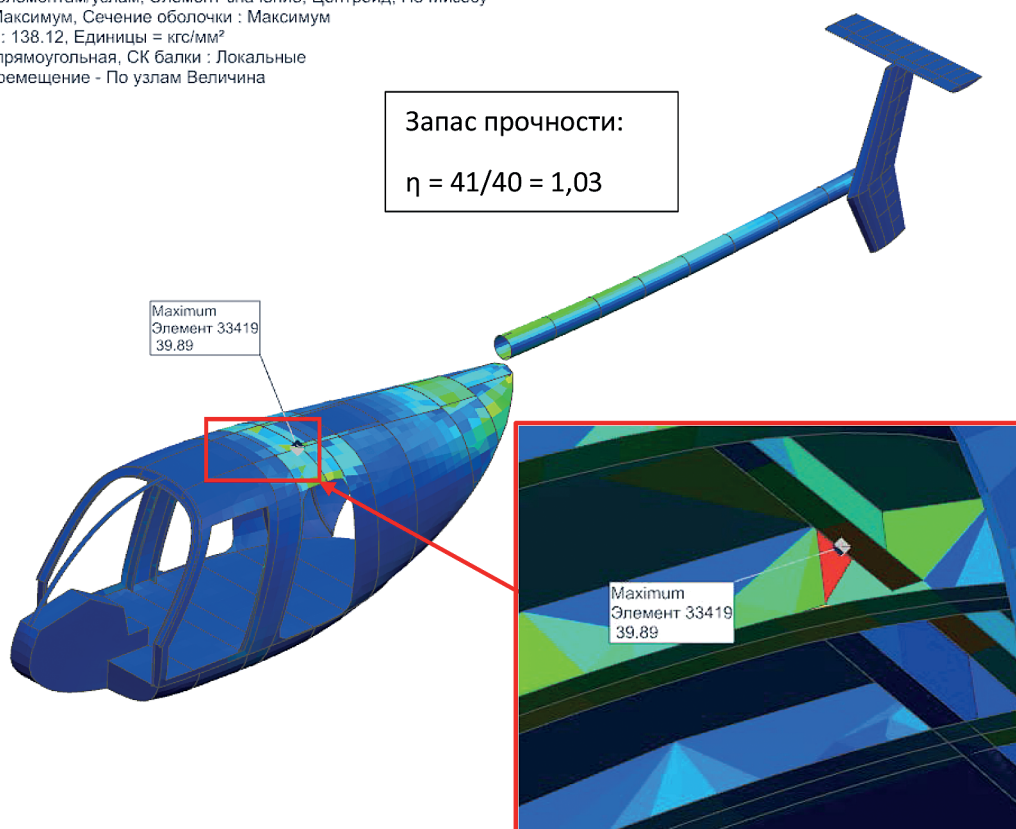


Рисунок 5. НДС конструкции цельнометаллического фюзеляжа в РС № 1 «горка»

poemi_shasi_fem1_sim1 : 101 Результат
Skolzhenie_levoe, Статический шаг 1
Напряжение - По элементам/узлам, Элемент-значение, Центроид, По Мизесу
Сечение балки : Точка восстановления С, Сечение оболочки : Сверху
Мин. : 0.00, Макс. : 46.75, Единицы = кгс/мм²
СК : Абсолютная прямоугольная, СК балки : Локальные
Деформация : Перемещение - По узлам Величина

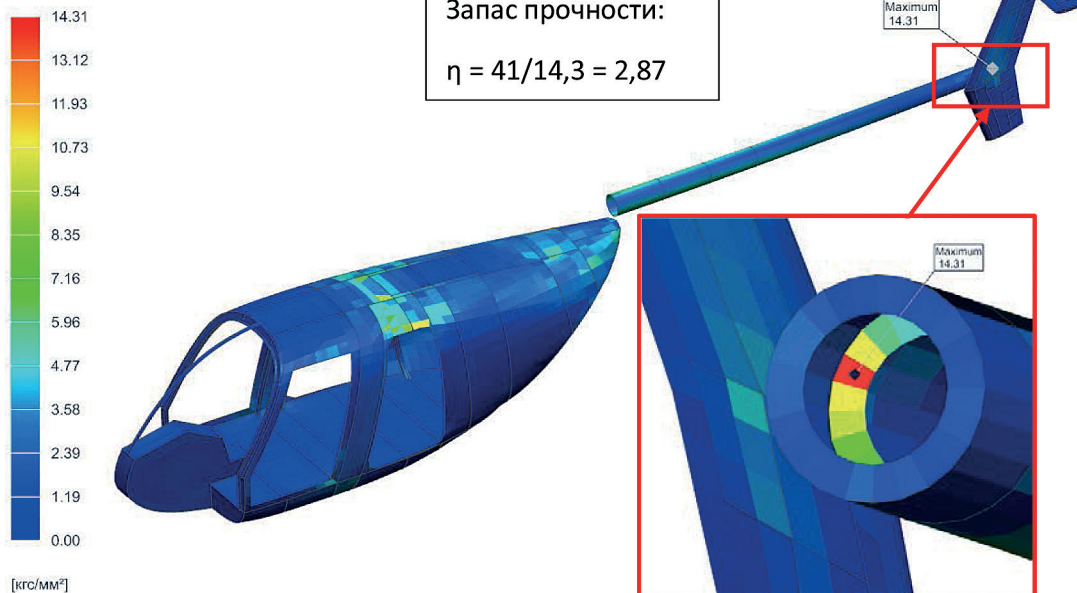


Рисунок 6. НДС конструкции цельнометаллического фюзеляжа в РС № 2 «скольжение левое»

poemi_shasi_fem1_sim1 : 101_kompozit Результат
Gorka_4, Статический шаг 1
Напряжение - По элементам/узлам, Элемент-значение, Центроид, По Мизесу
Сечение балки : Максимум, Сечение оболочки : Максимум
Мин. : 0.00, Макс. : 166.54, Единицы = кгс/мм²
СК : Абсолютная прямоугольная, СК балки : Локальные
Деформация : Перемещение - По узлам Величина

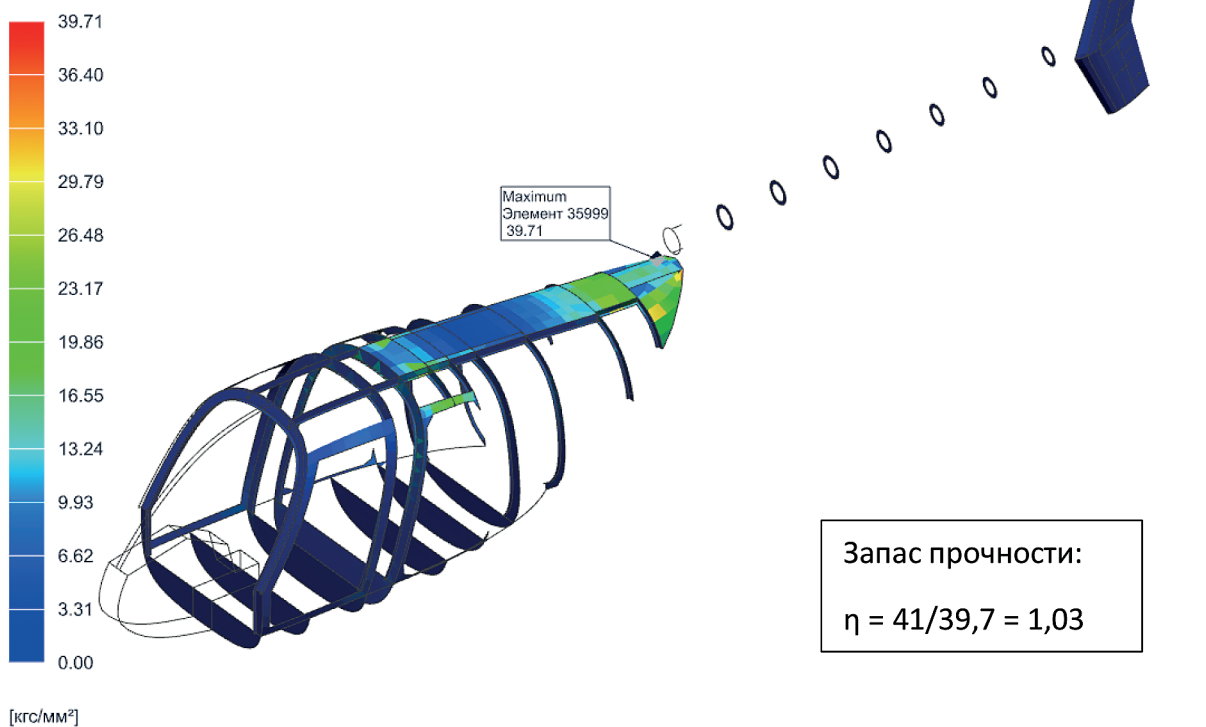


Рисунок 7. НДС конструкции металлокомпозитного фюзеляжа в РС № 1 «горка» (отображены только элементы из D16)

poemi_shasi_fem1_sim1 : Laminate Post Report 1 -- Graphical Report 1 Результат Результат
SOL 3-SUBCAS 1-FT1, Статический шаг 1001
Max Abs FI - По элементам/узлам, Элемент-значение, Центроид, Скаляр
Мин. : 0.000, Макс. : 0.984, Единицы = Безразмерный

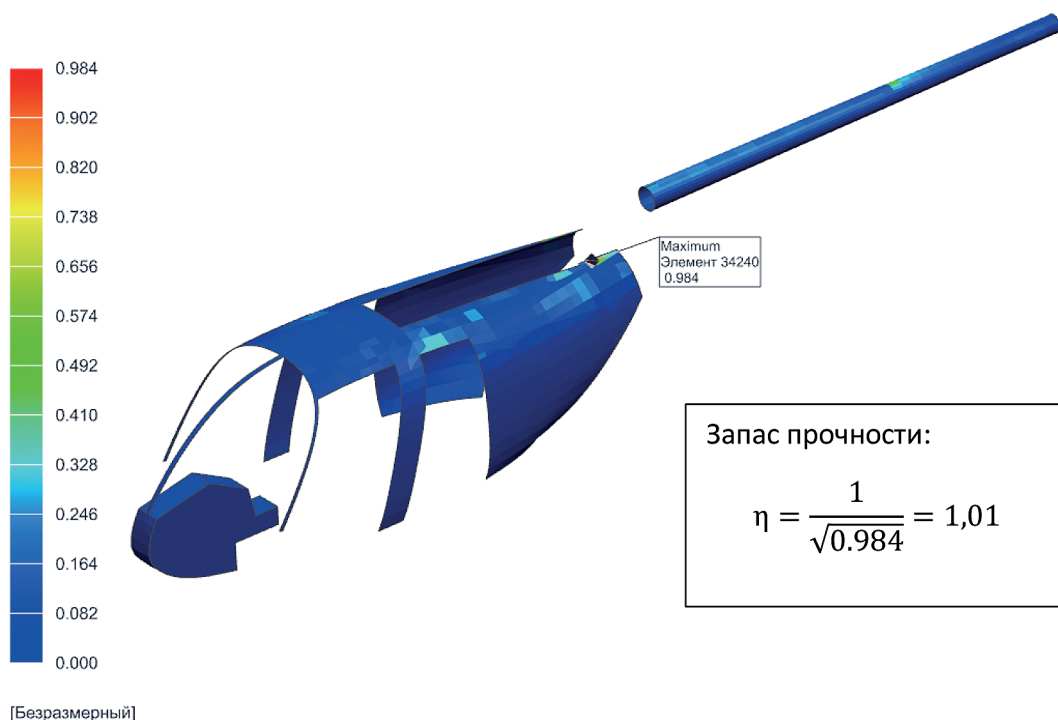


Рисунок 8. Коэффициент Хилла в РС № 1 «горка» (отображены только элементы из ПКМ)

poemi_shasi_fem1_sim1 : 101_kompozit Результат
Skolzhenie_levoe, Статический шаг 1
Напряжение - По элементам/узлам, Элемент-значение, Центроид, По Мизесу
Сечение балки : Максимум, Сечение оболочки : Максимум
Мин. : 0.00, Макс. : 55.99, Единицы = кгс/мм²
СК : Абсолютная прямоугольная, СК балки : Локальные
Деформация : Перемещение - По узлам Величина

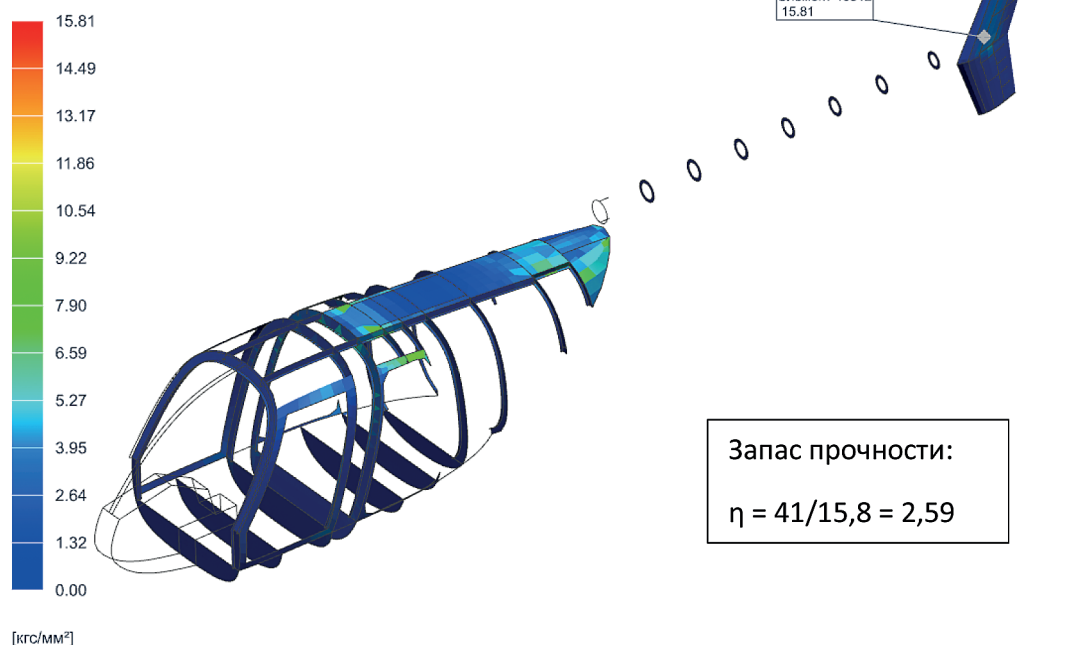


Рисунок 9. НДС конструкции металлокомпозитного фюзеляжа в РС № 2 «скольжение левое» (отображены только элементы из Д16)

poemi_shasi_fem1_sim1 : Laminate Post Report 1 -- Graphical Report 1 Результат Результат
SOL 3-SUBCAS 2-FT1, Статический шаг 1002
Max Abs FI - По элементам/узлам, Элемент-значение, Центроид, Скаляр
Мин. : 0.000, Макс. : 0.238, Единицы = Безразмерный

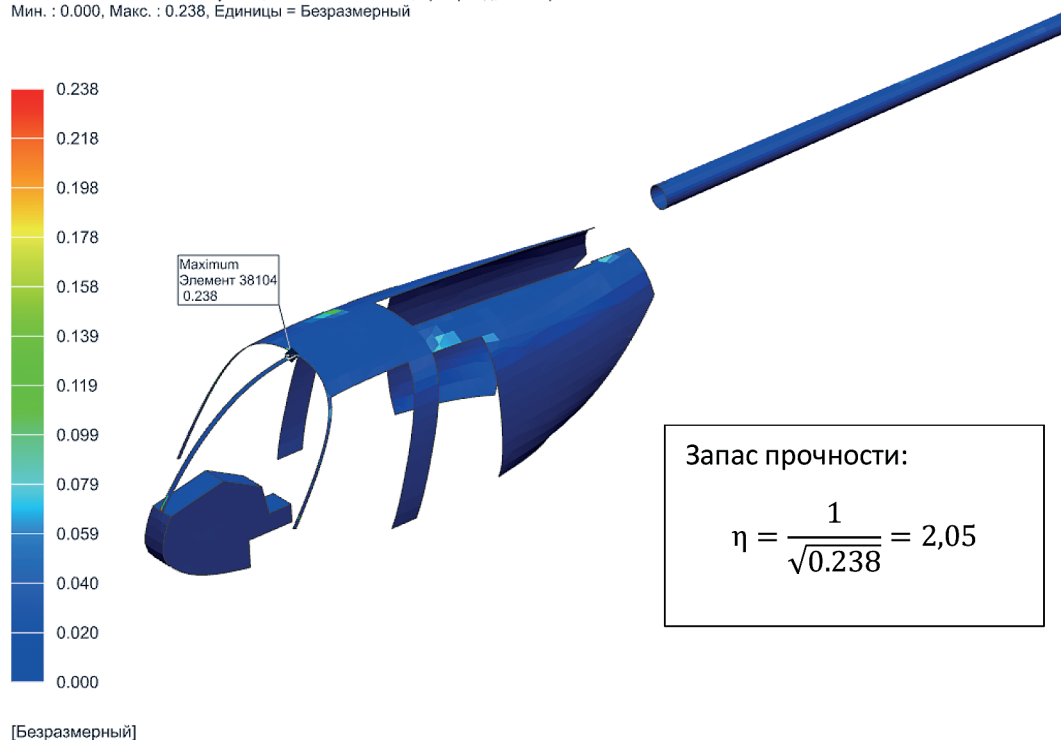


Рисунок 10. Коэффициент Хилла в РС № 2 «скольжение левое» (отображены только элементы из ПКМ)

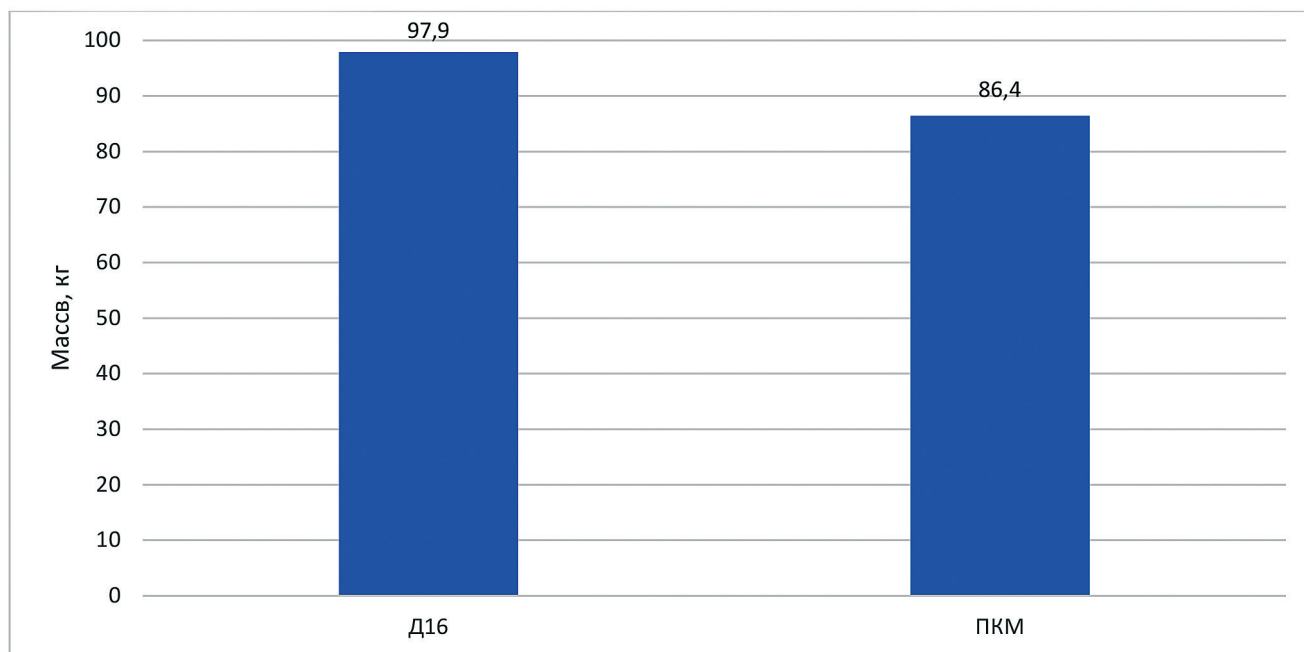


Рисунок 11. Сравнение масс в конструкциях фюзеляжа

лов были выбраны обшивка и установка консоли – менее 2% от всех элементов конструкции вертолета.

Таким образом, замена малого количества элементов с металлических (Д16) на ПКМ позволяет существенно снизить массу фюзеляжа.

Проведенное исследование доказало эффективность применения композитных материалов для модернизации вертолетных фюзеляжей. Разработанная методика на основе единой КЭ-модели позволила объективно сравнить цельнометаллический и металлокомпозитный варианты.

Результаты расчетов подтвердили, что замена элементов обшивки и хвостовой балки на композитные аналоги позволяет сохранить требуемые запасы прочности при снижении массы на 24% – с 48,2 до 36,7 кг.

Важно отметить, что такой результат достигнут без полной оптимизации под анизотропные свойства композитов. Использование современных методов проектирования и целенаправленного подбора материалов открывает перспективы для дальнейшего снижения массы. Полученные результаты подтверждают перспективность комбинированного подхода в вертолетостроении и могут быть использованы при модернизации парка винтокрылых аппаратов.

Источники

1. Башаров Е.А., Вагин Ю.А. Анализ применения композиционных материалов в конструкции планеров вертолетов [Электронный ресурс]. Труды МАИ. Вып. 92. URL: <https://mai.ru/science/publications/publish/>
2. Далин В.Н., Михеев С.В. Конструкция вертолетов: Учеб. М.: Изд-во МАИ, 2001. 352 с.: ил.
3. Богданов Ю.С., Михеев Р.А., Скулков Д.Д. Конструкция вертолетов: Учеб. для авиационных техникумов. М.: Машиностроение, 1990. 272 с.: ил.
4. Зимбицкий А.В., Стасюк Ю.В. Применение композиционных материалов в современном авиационном контроле за их состоянием в эксплуатации // Труды МАИ. 2020. № 112.
5. Официальный сайт вертолета Kopter Group AW09 [Электронный ресурс]. URL: <https://koptergroup.com/sh09-missions/>
6. Погосян М.А., Лисейцев Н.К., Стрелец Д.Ю. и др. Проектирование самолетов. 5-е изд. М.: Инновационное машиностроение, 2018. 863 с.
7. Астахов М.Ф. и др. Справочная книга по расчету самолета на прочность. М.: ГИОП, 1954.
8. Кун П. Расчет на прочность оболочек в самолетостроении. М.: Оборонгиз, 1961. 308 с.
9. Михеев Р.А. Прочность вертолетов: Учеб. для авиационных специальностей втузов. М.: Машиностроение, 1984. 280 с.: ил.
10. Фомичев П.А., Заруцкий А.В., Мандзюк С.Ф. Расчет на прочность самолета [Электронный ресурс]. Конспект лекций. Ч. 1 / Нац. аэрокосм. ун-т имени Н.Е. Жуковского. Харьков: Харьков. авиац. ин-т, 2017. 165 с.
11. Печенюк В.С., Попов Ю.И. Концептуальное проектирование конструкции крыла или фюзеляжа магистрального самолета из металлополимерных композиционных материалов // Инженерный вестник. 2019. № 5.
12. Бельский А.Б., Ресинец А.А. Основы твердотельного моделирования деталей авиационной техники: Учеб. пособие. М.: Изд-во МАИ, 2023. 228 с.: ил.
13. ГОСТ 21890-76. Фюзеляж, крылья и оперение самолетов и вертолетов. Государственный комитет стандартов Совета министров СССР. М., 1977. 10 с.
14. Башаров Е.А. Расчет оптимальных конструктивных параметров и применение в аэрокосмических конструкциях трехслойных сотовых панелей из полимер-

ных композиционных материалов / МГТУ имени Н.Э. Баумана // Инженерный журнал: наука и инновации. 2024. № 10.

15. Каталог материалов Всероссийского научно-исследовательского института авиационных материалов (ВИАМ) [Электронный ресурс]. URL: <https://catalog.viam.ru/>

16. Нормы летной годности винтокрылых аппаратов нормальной категории (НЛГ 27) [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_438013/f432c1409e4d1cdf9b518c19e62b7a4282e3bb90/

References

1. Basharov E.A., Vagin Yu.A. Analysis of the use of composite materials in the design of helicopter airframes. The works of MAI. Issue No. 92. <https://mai.ru/science/publications/publish/>
2. Dalin V.N., Mikhchev S.V. Helicopter design: Textbook. Moscow: MAI Publishing House, 2001. 352 p.: ill.
3. Bogdanov Yu.S. et al. Helicopter design: A textbook for aviation technical schools / Yu.S. Bogdanov, R.A. Mikhchev, D.D. Skulkov. Moscow: Mashinostroenie, 1990. 272 p.: ill.
4. Zimbitsky, A.V. The use of composite materials in modern aircraft construction, monitoring their condition in operation / A.V. Zimbitsky, Yu.V. Stasyuk // Proceedings of MAI. – 2020. – No. 112.
5. Official website of the Kopter Group AW09 helicopter [Electronic resource]. – URL: <https://koptergroup.com/sh09-missions/> (date of reference: 11/01/2025).
6. Aircraft design / M. A. Pogosyan, N. K. Liseitsev, D. Yu. Strelets [et al.]. – 5th ed. – Moscow: Innovative Engineering, 2018. – 863 p
7. Reference book on calculating aircraft strength. M.F. Astakhov et al., GИОП, M., 1954.
8. Kuhn P. Calculation of shell strength in aircraft construction, Oborongiz, 1961. – 308 p.
9. Mikhchev R.A. Strength of helicopters: A textbook for aviation specialties of higher education institutions. Moscow: Mashinostroenie, 1984. 280 p., ill.
10. Fomichev P.A. Calculation of the strength of an aircraft [Electronic resource]: lecture notes / P.A. Fomichev, A.V. Zarutsky, S.F. Mandzyuk. – Kharkiv: National Library. Aerospace. N.E. Zhukovsky University of Kharkov. aviation center. in-t», 2017. – Part 1. – 165 p.
11. Pechenyuk, V. S. Conceptual design of the wing or fuselage structure of a mainline aircraft made of metal-polymer composite materials / V. S. Pechenyuk, Yu. I. Popov // Engineering Bulletin, 2019, No. 5.
12. Belsky A.B., Resinets A.A. Fundamentals of solid-state modeling of aircraft parts: A textbook. Moscow: Publishing House of MAI, 2023. 228 S.: ill.
13. GOST 21890-76. Fuselage, wings and tail of airplanes and helicopters. The State Committee of Standards of the Council of Ministers of the USSR, Moscow, 1977, 10 p.
14. Basharov E.A. Calculation of optimal design parameters and application of three-layer honeycomb panels made of polymer composite materials in aerospace structures. Bauman Moscow State Technical University. Engineering Journal: Sciences and Innovations No. 10, 2024-16.
15. Catalog of materials of the All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials (VIAM) [Electronic resource]. URL: <https://catalog.viam.ru/>
16. Standards of airworthiness of rotorcraft of the normal category // NLG 27.



Разрешающая способность и чувствительность робототехнических систем манипуляционного типа

Е.В. Поезжаева,

канд. техн. наук, профессор,
ФГАОУ ВО ПНИПУ; г. Пермь

Е.С. Михайловская,

студент ФГАОУ ВО ПНИПУ; г. Пермь

А.Е. Аверкина,

студент ФГАОУ ВО ПНИПУ; г. Пермь

Е.С. Тряцын

студент ФГАОУ ВО ПНИПУ; г. Пермь

Аннотация. В статье рассматриваются методы количественной оценки статических характеристик робототехнических систем, связанных с точностью позиционирования рабочего органа. Основное внимание уделено измерению разрешающей способности и чувствительности промышленных роботов к изменениям нагрузки, положения в рабочем пространстве и направления подхода к заданной точке. Описаны способы измерения позы рабочего органа в шести степенях свободы, приведены основные соотношения для расчета ошибок положения и ориентации, а также методы статистической обработки экспериментальных данных. Показана возможность применения факторного анализа для выявления и количественной оценки влияния внешних и внутренних факторов на характеристики функционирования робота. Полученные результаты могут быть использованы при паспортизации робототехнических систем и оптимизации их применения в производственных условиях.

Ключевые слова: промышленные роботы, измерение позы, разрешающая способность, чувствительность робототехнической системы, погрешность позиционирования, статистическая обработка данных, факторный анализ, паспортизация роботов

Abstract. This article examines methods for quantitatively assessing the static characteristics of robotic systems related to the positioning accuracy of the end-effector. The focus is on measuring the resolution and sensitivity of industrial robots to changes in load, position in the workspace, and the direction of approach to a given point. Methods for measuring the end-effector pose in six degrees of freedom are described, the main relationships for calculating position and orientation errors are presented, and methods for statistical processing of experimental data are presented. The possibility of using factor analysis to identify and quantify the influence of external and internal factors on robot performance is demonstrated. The obtained results can be used in the certification of robotic systems and optimization of their use in industrial settings.

Keywords: industrial robots, pose measurement, resolution, robotic system sensitivity, positioning error, statistical data processing, factor analysis, robot certification

Несмотря на широкое внедрение промышленных роботов в современные производственные процессы, вопросы объективной и количественной оценки их эксплуатационных характеристик остаются актуальными. В технической документации производителей, как правило, указываются ограниченные сведения о повторяемости или теоретической разрешающей способности системы управления, тогда как данные об абсолютной погрешности позиционирования и чувствительности к изменению условий эксплуатации зачастую отсутствуют. Это существенно затрудняет корректный выбор робототехнических систем для задач, предъявляющих повышенные требования к точности и устойчивости функционирования [1].

Особую сложность представляет оценка характеристик, связанных с малыми управляемыми перемещениями и реакцией робота на внешние и внутренние возмущения. Разрешающая способность определяет возможность тонкой коррекции

заданий и обучаемость системы, а чувствительность — степень изменения характеристик функционирования при варьировании нагрузки, скорости движения и положения рабочего органа в рабочей зоне. Для их анализа необходимы специализированные измерительные средства и формализованные методы обработки экспериментальных данных.

Целью настоящей работы является описание подходов к измерению и количественной оценке разрешающей способности и чувствительности робототехнических систем на основе измерения позы рабочего органа и применения методов статистического анализа. Рассматриваются принципы построения измерительных схем, математические модели представления ошибок положения и ориентации, а также методика факторного анализа для выявления влияния основных эксплуатационных факторов [2].

Чувствительность робота к влиянию различных факторов исследуется на данной выборке измерений позы методами факторного анализа. Для каждого уровня исследуемого фактора (нагрузки, места заданной точки в рабочем пространстве, направления подхода к ней и т.п.) можно произвести равное число измерений позы и рассчитать по определенным формулам оценки среднеквадратических отклонений погрешностей на полученных совокупностях. Во-первых, используется оценка MSE, составленная как среднеквадратическая ошибка для всего множества выборок (предполагается, что, например, для трех факторов A,B,C имеется I,J,K уровней соответственно и на каждом уровне производится L испытаний):

$$\sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \frac{\varepsilon_{ijkl}^2}{I \cdot J \cdot K \cdot (L-1)} = MSE \quad (1)$$

Кроме того, рассчитываются еще семь оценок для каждого из трех факторов в отдельности и для всех комбинаций этих факторов

$$\sum_i \frac{j \cdot k \cdot l \cdot \alpha_i^2}{(I-1)} = MSA, \quad (2)$$

$$\sum_j \frac{I \cdot K \cdot L \cdot \beta_j^2}{(J-1)} = MSB, \quad (3)$$

$$\sum_k \frac{I \cdot J \cdot L \cdot \gamma_k^2}{(K-1)} = MSC, \quad (4)$$

$$\sum_i \sum_j \frac{K \cdot L \cdot \zeta_{ij}^2}{(I-1) \cdot (J-1)} = MSAB, \quad (5)$$

$$\sum_j \sum_k \frac{I \cdot L \cdot \nu_{jk}^2}{(J-1) \cdot (K-1)} = MSBC, \quad (6)$$

$$\sum_i \sum_k \frac{J \cdot L \cdot \eta_{ik}^2}{(I-1) \cdot (K-1)} = MSAC, \quad (7)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k \frac{L \cdot \phi_{ijk}^2}{(I-1) \cdot (J-1) \cdot (K-1)} = MSABC. \quad (8)$$

Ошибка на совокупности данной выборки определяется из формулы:

$$\hat{\varepsilon}_{ijkl} = x_{ijkl} - \bar{x}_{ijk}. \quad (9)$$

В соответствии с этим можно рассчитать коэффициенты влияния через средние значения для разных совокупностей

$$\hat{\alpha}_i = \bar{x}_{i...} - \bar{x}... \quad (10)$$

$$\hat{\beta}_j = \bar{x}_{.j...} - \bar{x}... \quad (11)$$

$$\hat{\gamma}_k = \bar{x}_{...k} - \bar{x}... \quad (12)$$

$$\zeta_{ij} = \bar{x}_{ij..} - \bar{x}_{i...} - \bar{x}_{.j..} + \bar{x}... \quad (23)$$

$$\hat{\nu}_{jk} = \bar{x}_{.jk.} - \bar{x}_{.j..} - \bar{x}_{...k.} + \bar{x}... \quad (34)$$

$$\hat{\phi}_{ijk} = \bar{x}_{ijk.} - \bar{x}_{ij..} - \bar{x}_{.jk.} + \bar{x}_{...k.} + \bar{x}_{i..} - \bar{x}_{.j..} + \bar{x}_{...k.} - \bar{x}... \quad (15)$$

$$(16)$$

где:

$$\bar{x}_{ijk} \approx \sum_l \frac{x_{ijkl}}{L}, \quad (17)$$

$$\bar{x}... = \sum_i \sum_j \sum_k \frac{\bar{x}_{ijk.}}{I \cdot J \cdot K}, \quad (18)$$

$$\bar{x}_{i...} = \sum_j \sum_k \frac{\bar{x}_{ijk.}}{J \cdot K}, \quad (19)$$

$$\bar{x}_{.j...} = \sum_i \sum_k \frac{\bar{x}_{ijk.}}{I \cdot K}, \quad (40)$$

$$\bar{x}_{...k.} = \sum_i \sum_j \frac{\bar{x}_{ijk.}}{I \cdot J}, \quad (51)$$

$$\bar{x}_{ij..} = \sum_k \frac{\bar{x}_{ijk.}}{K}, \quad (62)$$

$$\bar{x}_{.jk.} = \sum_i \frac{\bar{x}_{ijk.}}{I}, \quad (73)$$

$$\bar{x}_{i.k.} = \sum_j \frac{\bar{x}_{ijk.}}{J}. \quad (84)$$



Чем сильнее некоторый фактор влияет на характеристику функционирования робота, тем больше должно быть отношение $F = MS(\text{фактор}) / MSE$. Согласно методике факторного анализа влияние каждого фактора с некоторым уровнем значимости α выясняется путем проверки неравенства $F > F_{\alpha}$, где F_{α} берется

из стандартных таблиц. Тем самым можно построить чувствительность характеристик робота к воздействию интересующих исследователя факторов [3].

В экспериментальных процедурах по определению статических характеристик роботов, описывающих качество вывода рабочего органа в заданную позу, использовалось следующее измерительное оборудование и программное обеспечение: шесть датчиков линейного перемещения; программы системы управления, обеспечивающие команды роботу на выполнение нужного задания; программы обработки данных измерений для приведения их к нужному виду; приспособление с тремя взаимно перпендикулярными гранями, фиксируемое на захватном устройстве робота (допускается добавление груза известной массы); измерительное приспособление, обеспечивающее фиксацию шести датчиков перемещения ортогонально друг другу; приспособление для задания желаемой (эталонной) позы – оно аналогично приспособлению, прикрепляемому к руке робота, и имеет механизм для сопряжения с измерительным фиксатором; инструментальная оснастка для установки измерительного фиксатора в разнообразных позах в пределах рабочего пространства робота. В случае измерений статических и динамических усилий или податливости робота к этим средствам следует добавить соответствующие датчики [4].

Пользуясь перечисленными средствами, можно на основе описанных определений и формул установить характеристики точности, повторяемости, разрешающей способности и чувствительности робота. Это позволяет паспортизовать каждого конкретного робота, объективно определяя его возможности, и даже улучшать качество его функционирования, создавая модели различной степени общности, которые помогают выявить, а иногда и скомпенсировать источники ошибок. В перспективе развитие этого подхода позволит оптимизировать описание заданий роботам для определенных групп производственных операций.

В работе рассмотрены методы количественной оценки разрешающей способности и чувствительности промышленных робототехнических систем, основанные на измерении позы рабочего органа в шести степенях свободы и статистической обработке экспериментальных данных. Показано, что

использование формализованных моделей ошибок положения и ориентации позволяет получить объективные характеристики функционирования робота, не зависящие от конкретной реализации системы управления.

Применение методов факторного анализа дает возможность выявить и количественно оценить влияние нагрузки, положения в рабочем пространстве и направления подхода к заданной точке на качество выполнения заданий. Полученные оценки могут быть использованы при паспортизации конкретных робототехнических систем, а также при оптимизации режимов их эксплуатации и программ управления. В перспективе развитие описанного подхода способствует повышению надежности применения промышленных роботов и расширению области их использования в задачах с жесткими требованиями к точности и стабильности [5].

Источники

1. Андреев В.П., Майоров В.В.. Метод повышения разрешающей способности ультразвуковой сенсорной системы роботов // Экстремальная робототехника. 2024. № 1(34). С. 57–64. EDN KZHOLT
2. Фомин Е.И., Долотов К.С. Точность позиционирования электродвигателей в промышленных робототехнических системах // Фундаментальные основы механики. 2023. № 12. С. 49–52. DOI 10.26160/2542-0127-2023-12-49-52. EDN QLZMCV
3. Пахомова Л.В. Промышленные роботы и робототехнические системы: Учеб. пособие. Новосибирск: Сибирский государственный университет водного транспорта, 2022. 77 с. ISBN 978-5-8119-0933-9. EDN LKECZI
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023682088 Российская Федерация. Программа идентификации параметров и распознавания формы объекта на основе данных с тактильных сенсоров захвата манипуляционного робота в режиме реального масштаба времени: № 2023681604: заявл. 20.10.2023; опубл. 20.10.2023 / А.А. Пыркин, И.С. Довгополик, О.А. Евстафьев, В.С. Громов; заявитель: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО». EDN XDVEYD
5. Швехгеймер М.С. Оптимизация производства в пищевой промышленности: роль и вызовы применения роботов-манипуляторов // Оригинальные исследования. 2024. Т. 14. № 3. С. 9–15.



Sources

1. V. P. Andreev, V. V. Mayorov. Method for Increasing the Resolution of Ultrasonic Robot Sensor Systems // Extreme Robotics. 2024. No. 1(34). pp. 57–64. EDN KZHOLT
2. E. I. Fomin, K. S. Dolotov. Positioning Accuracy of Electric Motors in Industrial Robotic Systems // Fundamentals of Mechanics. 2023. No. 12. pp. 49–52. DOI 10.26160/2542-0127-2023-12-49-52. EDN QLZMCV
3. L. V. Pakhomova. Industrial Robots and Robotic Systems: Textbook. Novosibirsk: Siberian State University of Water Transport, 2022. 77 p. ISBN 978-5-8119-0933-9. EDN LKECZI
4. Certificate of State Registration of Computer Program No. 2023682088 Russian Federation. Program for Identification of Parameters and Recognition of Object Shape Based on Data from Tactile Sensors of a Manipulation Robot's Grip in Real Time: No. 2023681604: declared 20.10.2023: published 20.10.2023 / A.A. Pyrkin, I.S. Dovgopolik, O.A. Evstafiev, V.S. Gromov; applicant: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «National Research University ITMO». EDN XDVEYD
5. Shvekhgeimer M.S. Optimization of Production in the Food Industry: the Role and Challenges of Using Robotic Manipulators // Original Research. 2024. T. 14. No. 3. P. 9–15.



Разработка предложений по выбору и внедрению инструментов бережливого производства для промышленных предприятий

Л.Н. Третьяк,

заведующий кафедрой метрологии, стандартизации и сертификации, д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко»; г. Оренбург
e-mail: tretyak_ln@mail.ru

А.С. Вольнов,

доцент кафедры метрологии, стандартизации и сертификации, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко»; г. Оренбург
e-mail: Volnov_AS@mail.ru

Д.А. Косых,

доцент кафедры метрологии, стандартизации и сертификации, канд. экон. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко»; г. Оренбург
e-mail: kosich1975@rambler.ru

Д.И. Явкина

доцент кафедры метрологии, стандартизации и сертификации, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко»; г. Оренбург.
e-mail: dinaild@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются ключевые проблемы, с которыми сталкиваются промышленные предприятия при внедрении и выборе инструментов бережливого производства. Анализируются причины неэффективного внедрения ин-

струментов бережливого производства, такие как отсутствие стратегического видения и системной оценки зрелости процессов, а также кастомизации подходов. Авторами анализируется теоретико-методологическая база бережливого производства и проводится критический анализ применимости ее ключевых инструментов в различных производственных контекстах. Основной акцент делается на разработке структурированного подхода к селективному и адаптивному внедрению инструментов бережливого производства, исходя из специфики предприятия: типа производства, уровня зрелости процессов, отраслевой принадлежности. Авторами предлагается алгоритм, включающий диагностический этап для выявления видов потерь, этапы приоритизации проблем и их сопоставления с наиболее целесообразными инструментами бережливого производства. Практическая значимость исследования заключается в формировании рекомендаций, позволяющих предприятиям избегать шаблонного подхода и оптимизировать инвестиции в преобразования. Результатом исследования является модель выбора инструментов бережливого производства, способствующая системному повышению производительности, качества продукции и сокращению издержек промышленных предприятий.

Ключевые слова: промышленное предприятие, потери, управление качеством продукции (услуг), бережливое производство, инструмент, оптимизация процессов, выбор, внедрение, эффективность.

Summary. This article examines the key challenges industrial enterprises face when implementing and selecting lean manufacturing tools. It analyzes the causes of ineffective lean implementation, including a lack of strategic vision and systematic assessment of process maturity, as well as the customization of approaches. The authors analyze the theoretical and methodological foundations of lean manufacturing and critically assess the applicability of its key tools in

various production contexts. The primary focus is on developing a structured approach to the selective and adaptive implementation of lean manufacturing tools based on enterprise specifics: production type, process maturity level, and industry affiliation. The authors propose an algorithm that includes a diagnostic stage for identifying waste types, problem prioritization, and matching them with the most appropriate lean manufacturing tools. The practical significance of this study lies in the development of recommendations that enable enterprises to avoid a one-size-fits-all approach and optimize their investment in transformation. The result of this study is a model for selecting lean manufacturing tools that promotes a systematic improvement in productivity, product quality, and cost reduction for industrial enterprises.

Keywords: industrial enterprise, losses, product (service) quality management, lean manufacturing, tool, process optimization, selection, implementation, efficiency.

Введение

В современных условиях глобальной экономической нестабильности, ужесточения конкуренции и трансформации рыночных требований российские промышленные предприятия сталкиваются с комплексом вызовов, обуславливающих критическую необходимость системного повышения операционной эффективности. В этом контексте особую актуальность приобретает внедрение инструментов бережливого производства (БП), регламентированных национальным стандартом ГОСТ Р 56407–2023 «Бережливое производство. Основные инструменты и методы их применения». Однако ключевой проблемой, определяющей практическую значимость данного исследования, является не сам факт признания ценности философии БП, а дефицит научно обоснованных и практически применимых подходов к адаптивному выбору конкретных методов и инструментов, регламентированных в этом национальном стандарте, для специфических условий каждого предприятия.

Несмотря на растущую популярность концепции БП, значительная часть проектов не всегда заканчивается успешно или дает незначительный результат. Проведенный нами анализ проблем выбора инструментов БП на промышленных предприятиях показал, что основная причина состоит в шаблонном, недифференцированном подходе, когда руководство предприятия пытается механически копировать инструменты БП (например, повсеместно внедрять канбан, организацию рабочего пространства (5S) или всеобщее обслуживание оборудования (TPM)? не проводя предваритель-

ной глубокой диагностики собственной производственной системы (табл. 1).

Представленные в табл. 1 выводы доказывают, что не существует «универсального набора» инструментов. Эффективность применения инструментов, перечисленных в ГОСТ Р 56407–2023 (картирование потока создания ценности (VSM), визуализация, канбан, защита от непреднамеренных ошибок (*Poka-yoke*), SMED, TPM, 5S, стандартизация работы и др.), кардинально различается в зависимости от типа производства (единичное, серийное, массовое), характера доминирующих потерь (перепроизводство, дефекты, излишние запасы), уровня зрелости процессов и организационной культуры. Инвестиции в БП без научно обоснованной методики выбора инструментов обесцениваются. При этом бессистемное и одновременное внедрение множества инструментов БП ведет к распылению усилий, конфликту инициатив и «усталости от перемен» у персонала. Следовательно, возникает острая потребность в методологии приоритизации, позволяющей на основе фактических данных выявить наиболее болезненные и затратные виды потерь, сопоставить их с адекватными, рекомендованными ГОСТ Р 56407–2023 инструментами, имеющими максимальный потенциал воздействия и построить реалистичную поэтапную «дорожную карту» внедрения. Грамотный выбор и применение инструментов БП закладывают основу для последующего внедрения более специализированных стандартов (например, в области бережливого офиса, проектирования или сервиса), формируя целостную корпоративную «бережливую» производственную систему. Это напрямую способствует технологическому суверенитету, позволяя предприятиям развивать собственные, адаптированные к российским реалиям, модели операционного совершенства, а не зависеть от зарубежных консультантов и методик. Поэтому актуальность исследования выбора инструментов БП носит практико-ориентированный и системный характер. Она определяется не абстрактной важностью БП, а насущной потребностью промышленных предприятий в адаптивном управленческом инструментарии, который позволит трансформировать общие принципы БП в конкретный план действий с предсказуемым экономическим эффектом, минимизируя риски и повышая отдачу от инвестиций в операционные улучшения.

Цель исследования – разработка предложений по выбору и внедрению инструментов БП для промышленных предприятий.

Объект исследования – процесс принятия решений по выбору, адаптации и внедрению инструментов БП в рамках производственной системы промышленного предприятия.



Таблица 1. Анализ проблем выбора инструментов БП на промышленных предприятиях и предложения по их решению

Проблема	Признак, проявление	Следствие	Решение
Проблема отсутствия диагностики и стратегического видения	Руководство, впечатленное успехом применения 5S или канбан на другом предприятии, предпринимает внедрить тот же инструмент повсеместно, не проводя глубокого анализа собственных проблем	Инструмент работает изолированно, не устраняя системных «узких мест». Например, внедрение канбан на складе не даст эффекта, если основная проблема – нестабильное качество поступающих от поставщика комплектующих	Выбор инструментария должен быть следствием стратегического целеполагания и тщательной диагностики. Необходимо ответить на вопросы: какие стратегические цели мы преследуем (снижение себестоимости, сокращение цикла заказа, повышение гибкости и др.) и какие потери нам мешают их достичь? Инструменты картирования потока создания ценности и диагностические аудиты должны предшествовать выбору методик
Проблема «калейдоскопа» инструментов без интеграции в систему. Предприятия часто внедряют инструменты точечно, не выстраивая между ними логических связей	На одном участке внедрена 5S, на другом – ТРМ, в цехе логистики – канбан, при этом они не объединены общей логикой и не поддерживают друг друга	Отсутствие синергии. Локальные улучшения не суммируются в общеорганизационный результат. Сотрудники воспринимают БП как набор разрозненных инициатив, что приводит к «усталости от изменений»	Строить не «калейдоскоп», а «конструктор», где инструменты взаимосвязаны. Например, 5S создает основу для визуального управления, которое, в свою очередь, является предпосылкой для эффективного ТРМ. Стабильные процессы, достигнутые благодаря ТРМ, позволяют работать по системе канбан
Проблема игнорирования человеческого и культурного факторов. Инструменты выбираются сугубо с технической точки зрения, без учета готовности коллектива к их принятию	Внедрение сложных инструментов статистического контроля процессов в коллективе с низкой культурой и недостаточной математической подготовкой	Формальное ведение записей, искажение данных, саботаж. Инструмент не работает, так как персонал не понимает его ценности и не хочет им пользоваться	Проводить оценку организационной культуры и компетенций. Начинать с простых и наглядных инструментов, дающих быстрый результат (5S, визуализация), чтобы сформировать позитивный опыт и доверие. Инвестировать в обучение и разъяснение философии «кайдзен» – непрерывного улучшения силами самих сотрудников
Проблема копирования чужого успешного опыта без адаптации к специфике собственного производства	Предприятие дискретного производства (например, машиностроение) пытается в чистом виде применить инструменты, идеально работающие в поточном производстве (как в автомобильной промышленности)	Инструмент не «стыкуется» с технологическими и организационными реалиями, требует настолько значительных доработок, что теряет свою сущность	Подходить к выбору инструментов творчески. Анализировать не «что внедрить», а «какую проблему решить». Адаптировать принципы, лежащие в основе инструмента, к конкретным условиям. Например, в условиях мелкосерийного производства классический канбан может быть трансформирован в систему пополнения запасов на основе более гибких сигналов
Проблема отсутствия метрик и системы оценки эффективности. Выбор инструментов происходит без определения критериев успеха и механизмов последующего измерения их воздействия	Внедрение того или иного метода обосновывается общими фразами «это мировая практика» или «так делают лидеры», без четкого понимания, каких конкретных показателей нужно достичь	Невозможно объективно оценить, сработал инструмент или нет. Успех становится предметом субъективных мнений	Перед внедрением любого инструмента определять ключевые показатели эффективности (KPI), на которые он должен повлиять. Например, внедрение быстрой переналадки (SMED) должно измеряться сокращением времени переналадки на определенное количество процентов, а внедрение ТРМ – повышением коэффициента готовности оборудования

Источник: разработано авторами статьи

Предмет исследования – закономерности, критерии и методологические принципы формирования стратегии внедрения инструментов БП на промышленном предприятии.

Материалы и методы исследования

Исследование базируется на комплексном подходе, сочетающем анализ нормативной базы, изучение теоретических концепций и применение практических инструментов диагностики и проектирования производственных систем. Методологическую основу составили принципы системного анализа, сравнительного подхода и моделирования. Изучены фундаментальные работы основателей производственной системы *Toyota* (Т. Оно, С. Синго), а также современных авторов в области БП (Дж. Вумек, Д. Джонс). Проведен анализ публикации [1–3], посвященных внедрению БП в различных отраслях промышленности. Исследование основано на сборе первичных данных, предоставленных одним из промышленных предприятий Оренбургской области. Проведено хронометражное наблюдение за ключевыми технологическими операциями с фиксацией времени цикла, простоев и операционного времени. Выполнен документальный анализ производственных отчетов, планов-графиков ремонтов, карт складского учета для оценки объемов незавершенного производства и уровня запасов. Созданы фокус-группы и проведены структурированные интервью со специалистами для выявления скрытых проблем и отношения к практике улучшений.

Результаты и их обсуждение

В качестве основного предложения нами разработан алгоритм внедрения инструментов БП в деятельность промышленных предприятий (рис. 1). На первом этапе внедрения инструментов БП должен проводиться аудит процессов предприятия. Его цель – получить объективную картину работы предприятия «как есть». Осуществляется сбор данных по ключевым показателям деятельности за последний период (производительность, время производственного цикла, объем незавершенного производства, уровень запасов, процент брака, частота травматизма, время переналадки и т.д.). Также проводится инвентаризация уже используемых инструментов БП (например, если уже внедрены 5S, SMED или картирование потока создания ценности в отдельных цехах) и количественная оценка их эффективности (действительно ли они результативны, поддерживаются ли они персоналом или существуют только формально). На выходе формируется отчет о текущем состоянии производства с качественной оценкой уровня развития производственной системы. На основе анализа KPI выбираются «узкие места» или процессы, которые в наи-

большей степени влияют на общую эффективность предприятия и где улучшения дадут максимальный экономический эффект. Составляется карта потока создания ценности текущего состояния для выявления потерь (перепроизводство, ожидание, лишние перемещения и т.д.) и проводится их ранжирование в зависимости от степени влияния на стратегические цели предприятия (прибыль, выполнение заказов, качество). После чего выбирают 1–2 пилотных процесса для внедрения.

При внедрении инструментов БП основное внимание должно уделяться обучению персонала предприятия. Согласно ГОСТ Р 57523–2017 система подготовки персонала предназначена для создания и поддержания требуемого уровня компетентности персонала в области БП на основе единого подхода, принципов, модели, состава компетенции для решения задач по постоянному улучшению деятельности, ее результативности и эффективности. Система подготовки персонала основана на следующих принципах: целенаправленность, согласованность, многоуровневость, сбалансированность. При этом подготовка персонала должна включать как необходимую теоретическую, так и соответствующую практическую части.

Согласно алгоритму (см. рис. 1), по результатам обучения назначаются ответственные лица, которые будут реализовывать проект. Приказом по предприятию назначается лидер изменений из числа высшего или среднего звена, наделенный достаточными полномочиями. Формируется рабочая группа, в которую входят технологи, мастера, операторы, представители отдела технического контроля и службы качества (те, кто непосредственно работает в выбранных процессах). Тем самым создается организационная структура управления проектом внедрения.

Основной критерий выбора инструментов БП – потери, преобладающие в технологическом процессе. В табл. 1 ГОСТ Р 56407–2023 представлена взаимосвязь инструментов и устраняемых потерь. Выбор инструмента должен быть увязан с конкретными целями, которые организация ставит перед собой. В качестве полезного инструмента для постановки целей мы предлагаем метод SMART, обеспечивающий формулировку конкретных, измеримых, достижимых, актуальных и ограниченных во времени задач. При выборе инструментов необходимо учитывать уровень зрелости организации и готовность персонала к изменениям. Исследования показывают, что наиболее часто внедряемым инструментом является 5S, что объясняется его наглядностью, простотой и возможностью достижения быстрых результатов. Более сложные инструменты, такие как VSM или TPM,

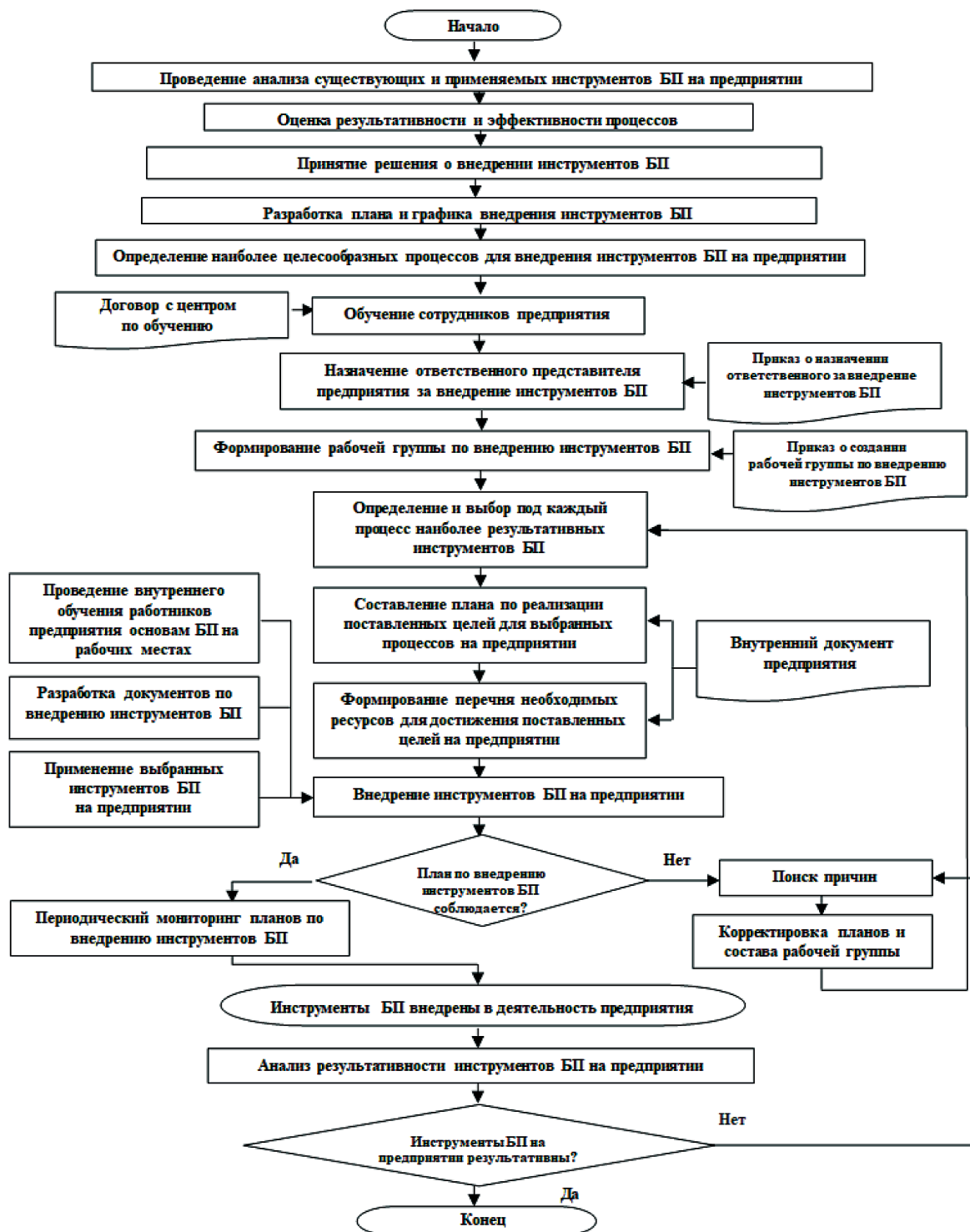


Рисунок 1. Алгоритм по внедрению инструментов БП в деятельности промышленных предприятий

требуют предварительного обучения и вовлечения специалистов. Некоторые инструменты требуют минимальных вложений (5S, визуализация), другие могут предполагать затраты на модернизацию оснастки (SMED) или приобретение оборудования (*Poka-yoke*). Реалистичная оценка доступных ресурсов – необходимое условие успешного выбора. Для повышения объективности и обоснованности

выбора мы предлагаем использовать методологию квалитметрического анализа. Применительно к рассматриваемой в статье задаче выбора инструментов БП квалитметрический анализ позволяет перейти от вербального описания инструментов БП к количественным оценкам – коэффициентам весомости, которые показывают степень значимости (вклад) каждого инструмента в повышение

эффективности конкретного процесса с учетом его текущего состояния и целевых показателей.

Далее реализуются следующие этапы внедрения выбранных инструментов: определение КРІ, которых нужно достичь (например, уменьшить запасы на участке на 30%), разработка плана-графика работ с указанием сроков начала и окончания каждого этапа, а также определение контрольных точек для мониторинга. Параллельно разрабатываемый план должен обеспечиваться ресурсами. Расчет бюджета включает затраты на обучение, закупку стеллажей, маркировку, информационных стендов, возможную модернизацию оснастки. Предполагается выделение временных ресурсов сотрудников для участия в работе группы (освобождение от основной работы на время проведения «кайдзен»-недель и др.).

На заключительных этапах запланированные мероприятия реализуются непосредственно на производственных участках. Проводится сравнение полученных результатов с плановыми показателями и формируется отчет об эффективности внедрения, выявление лучших практик и ошибок. Закрепляются достигнутые результаты и запускается цикл дальнейших улучшений. В результате успешные изменения оформляются в виде новых стандартных операционных процедур, инструкций, регламентов. Проводится регулярный контроль соблюдения новой документированной информации (аудиты) и перенос успешного опыта с пилотного участка на другие процессы предприятия. Далее осуществляется поиск новых точек роста путем анализа КРІ для выявления следующих проблем. Цикл повторяется на новом, более высоком уровне, например, путем совместного применения БП и цифровизации, что обеспечит устойчивый рост показателей экономической эффективности и сформирует адаптивные производственные системы, способные к развитию в условиях цифровой экономики [4, 5].

Пример реализации

Апробация разработанного алгоритма по внедрению инструментов БП проводилась для конкретных процессов производства на одном из предприятий Оренбургской области. Для обоснованного выбора методов и инструментов БП, направленного на повышение результативности и эффективности процессов, предлагается применять квалиметрический анализ для определения коэффициентов весомости этих инструментов. Весомость предлагается устанавливать в зависимости от специфики процессов, реализуемых на промышленном предприятии. На начальном этапе исследования было построено дерево выбора ин-

струментов БП (рис. 2), позволяющее визуализировать приоритетность инструментов для основных производственных процессов. Далее рассчитывались коэффициенты весомости. Суть метода заключается в проведении опроса среди специалистов с последующей математической обработкой полученных данных. Критериями оценки выступили результативность, эффективность и сроки внедрения инструментов БП. В экспертной оценке участвовали руководители подразделений, мастера и главные диспетчеры соответствующих процессов. Перед началом оценки для экспертов был проведен инструктаж с предоставлением методических материалов и разъяснением потенциальных эффектов от внедрения рассматриваемых инструментов. После обучения участниками при анализе производственных процессов присваивались баллы каждому инструменту БП.

В качестве балльной системы оценки нами использовались следующие уровни: оценка «1» подразумевает, что инструмент БП не полезен и не позволит улучшить процесс; оценка «3» подразумевает, что инструмент БП полезен, но не гарантирует улучшения системы процесса; оценка «5» подразумевает, что инструмент БП полезен и улучшит систему процесса. В качестве объектов оценки выделены следующие основные производственные процессы промышленного предприятия: заготовительное, механическое, сварочное, сборочное производства, термическая обработка, деятельность производственной лаборатории и нанесение лакокрасочных покрытий. Для визуализации приоритетности инструментов БП по каждому из перечисленных процессов результаты ранжирования представлены нами в графическом виде (рис. 3–9).

Таким образом, в результате анализа нами определены и визуализированы наиболее приоритетные для каждого участка инструменты БП. К числу таких инструментов относятся оконтуривание, хронометраж, диаграмма спагетти, маркировка, ячеечное размещение предметов и другие. Однако практическое внедрение любого инструмента БП должно начинаться с натурных исследований: на выбранном участке необходимо провести наблюдения за действиями операторов с фиксацией временных затрат.

Параллельно следует организовать учет простоев оборудования с выявлением их причин и последующей разработкой корректирующих мероприятий. Ключевым условием объективного анализа является запуск системы сбора фактических производственных данных. Операторам вменяется в обязанность регистрировать моменты перехода оборудования из «рабочего» состояния в «нерабочее» и обратно, фиксируя длительность простоев



Применимость инструментов и методов БП на этапах ЖЦ производства изделий в деятельности промышленных предприятий	Заготовительное производство	Стандартизация работы	Хронометраж	1
			Нормирование	2
		Визуализация	Плакаты, стенды	3
			Маркировка	4
			Оконтуривание	5
			Диаграмма Снагетти	6
	Механическое производство	Организация рабочего пространства 5S	Красные ярлыки	7
			Ячеечное размещение предметов	8
		Быстрая переналадка SMED	Сокращение времени	9
		TPM	Диаграмма Исикавы	10
			«5 почему?»	11
		Визуализация	Плакаты, стенды	12
			Маркировка	13
	Оконтуривание		14	
	Диаграмма Снагетти		15	
	Сварочное производство	Организация рабочего пространства 5S	Красные ярлыки	16
			Ячеечное размещение предметов	17
		Канбан	Карточки канбан	18
			Тарный канбан	19
		Стандартизация работы	Хронометраж	20
			Нормирование	21
		Визуализация	Плакаты, стенды	22
			Маркировка	23
	Оконтуривание		24	
	Диаграмма Снагетти		25	
	Термическая обработка	Организация рабочего пространства 5S	Красные ярлыки	26
			Ячеечное размещение предметов	27
		Защита от непреднамеренных ошибок (Poka-Yoke)	Андон	28
			Диаграмма Исикавы	29
			Мозговой штурм	30
			5 почему	31
		Защита от непреднамеренных ошибок (Poka-Yoke)	Андон	32
			Диаграмма Исикавы	33
	Мозговой штурм		34	
	«5 почему?»		35	
	Сборочное производство	Визуализация	Плакаты, стенды	36
			Маркировка	37
			Оконтуривание	38
			Диаграмма Снагетти	39
		Быстрая переналадка SMED	Сокращение времени	40
		Стандартизация работы	Хронометраж	41
			Нормирование	42
	Производственная лаборатория	Визуализация	Плакаты, стенды	43
			Маркировка	44
			Оконтуривание	45
			Диаграмма Снагетти	46
		Стандартизация работы	Хронометраж	47
			Нормирование	48
		Защита от непреднамеренных ошибок (Poka-Yoke)	Андон	49
			Диаграмма Исикавы	50
	Мозговой штурм		51	
	«5 почему?»		52	
	Визуализация	Плакаты, стенды	53	
		Маркировка	54	
		Оконтуривание	55	
		Диаграмма Снагетти	56	
	Нанесение защитных покрытий	Визуализация	Плакаты, стенды	57
			Маркировка	58
			Оконтуривание	59
			Диаграмма Снагетти	60
		Защита от непреднамеренных ошибок (Poka-Yoke)	Андон	61
			Диаграмма Исикавы	62
			Мозговой штурм	63
			«5 почему?»	64

Рисунок 2. Дерево выбора инструментов БП и методов применения инструментов

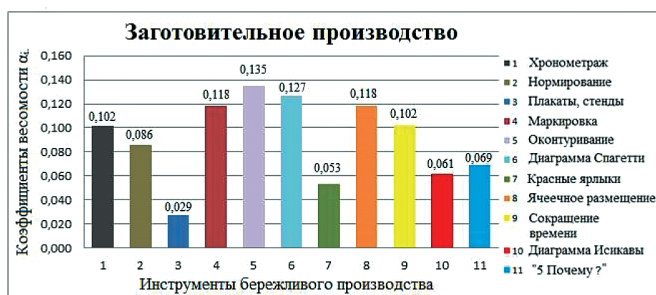


Рисунок 3. Коэффициенты весомости для инструментов БП, применяемых в процессе заготовительного производства

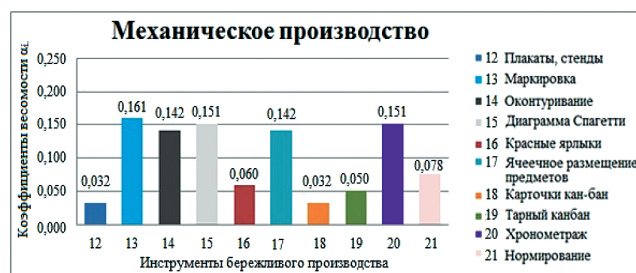


Рисунок 4. Коэффициенты весомости для инструментов БП, применяемых в процессе механического производства

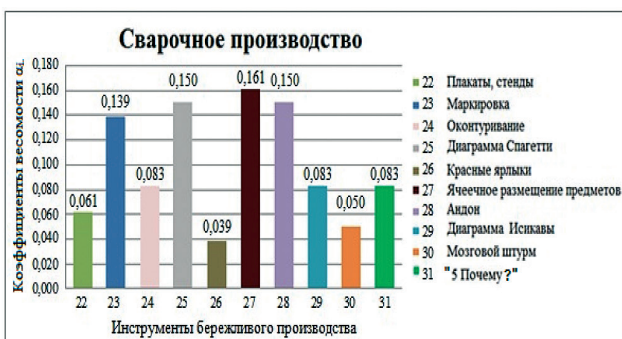


Рисунок 5. Коэффициенты весомости для инструментов БП, применяемых в процессе сварочного производства



Рисунок 6. Коэффициенты весомости для инструментов БП, применяемых в процессе термической обработки

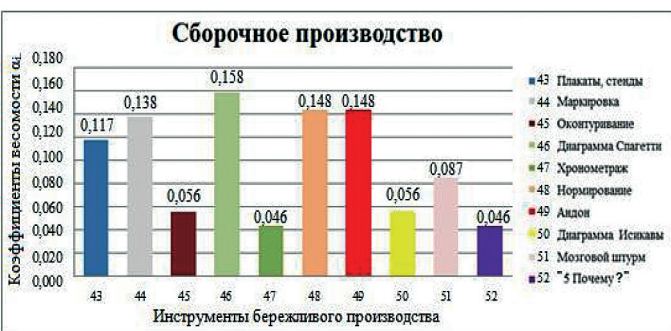


Рисунок 7. Коэффициенты весомости для инструментов БП, применяемых в процессе сборки изделий



Рисунок 8. Коэффициенты весомости для инструментов БП, применяемых в процессе работы производственной лаборатории



Рисунок 9. Коэффициенты весомости для инструментов БП, применяемых в процессе нанесения лакокрасочных покрытий

и их причины. Также в разрезе каждой смены необходимо учитывать объем выпущенной продукции и параметры брака. Вся информация должна аккумулироваться в единой системе с возможностью оперативного доступа и анализа. Важно подчеркнуть: использование завышенных нормативов времени цикла маскирует реальные потери и создает иллюзию благополучия, тогда как необоснованно заниженные показатели могут сигнализировать о мнимых убытках даже при высокой организации труда. Выбранные инструменты БП, полученные с помощью проведенного квалитетического анализа, были внедрены на экспериментальном участке предприятия – заготовительное производство.

Заготовительное производство включает следующие участки: ленточнопильный, плазменной резки, термической обработки, изготовления образцов, а также лабораторию разрушающих испытаний. Основная задача этого производства – подготовка заготовок для последующей механической обработки. В результате анализа процесса было принято решение о внедрении методов «5S» и «Визуализация» (рис. 10, 11), а также инструмента «Диаграмма спагетти» (рис. 12, 13). Предварительно для регламентации работ нами был разработан внутренний стандарт «Требования к организации рабочего пространства. Метод 5S». Исходное состояние процесса характеризовалось неорганизованным хранением сырья без надлежащей идентификации (см. рис. 10), что приводило к увеличению времени поиска и выдачи материалов в производство. После внедрения методов БП (см. рис. 11) сырье было рассортировано по механическим свойствам и по геометрическим параметрам (диаметру), а каждая единица промаркирована

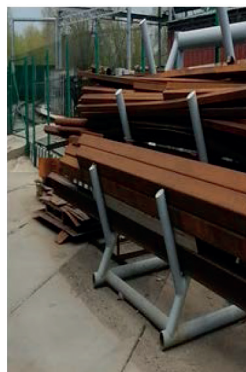


Рисунок 10. Места хранения сырья для заготовительного производства до внедрения инструментов БП



Рисунок 11. Места хранения сырья для заготовительного производства после внедрения инструментов БП

идентификационным ярлыком. Как показала практика, реализованные мероприятия позволили достичь следующих результатов: исключен риск запуска в производство непроверенного сырья, что предотвращает возникновение брака; устранена необходимость повторной проверки материалов испытательной лабораторией; сокращено время выдачи сырья в производство, что повысило производительность участка; уменьшены потери времени на поиск необходимого сырья. По результатам наблюдения за маршрутами движения деталей

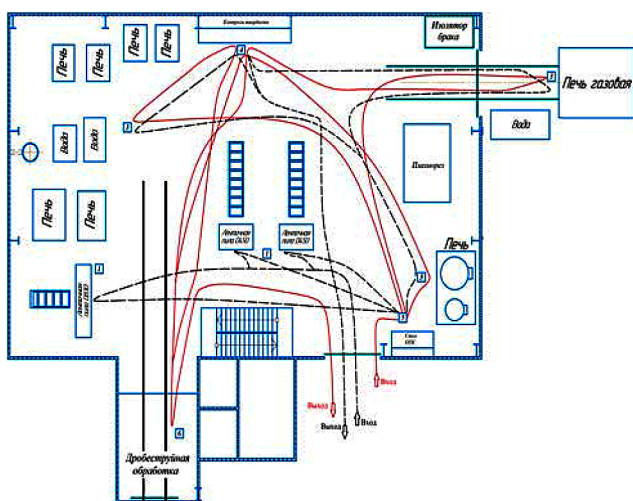


Рисунок 12. Схема расположения выполняемых работ в заготовительном производстве до внедрения инструментов БП

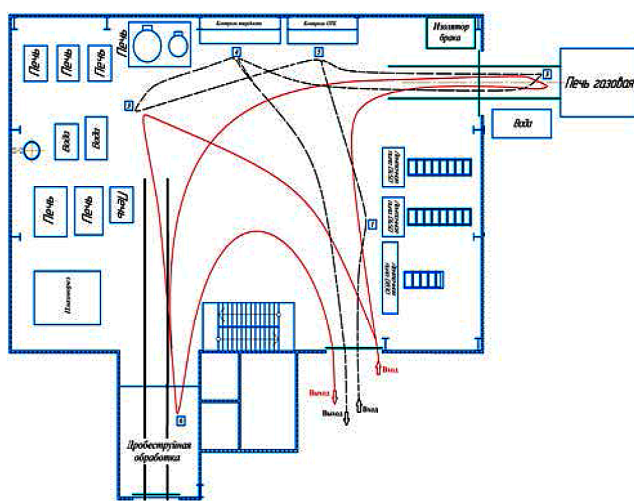


Рисунок 13. Схема расположения выполняемых работ в заготовительном производстве после внедрения инструментов БП

в заготовительном производстве была построена диаграмма спагетти, отражающая фактические перемещения (см. рис. 12). В качестве объектов наблюдения выбраны следующие детали и заготовки: корпус, крышка, отводы.

На схеме (см. рис. 12) маршруты поступления и перемещения деталей обозначены сплошной красной линией, а перемещение заготовок, подготовленных к запуску в производство, – прерывистой черной линией. Анализ полученной диаграммы выявил нерациональность существующей планировки: маршруты движения материалов оказались нерациональными. Это позволило обосновать необходимость перепланировки участка. На основе выявленных недостатков была разработана оптимизированная схема расположения оборудования и рабочих зон (см. рис. 13). Предложенная перепланировка участка позволит сократить общую протяженность перемещений и время выполнения операций в заготовительном производстве, а также высвободить дополнительную полезную площадь цеха.

Выводы

Предложенный структурированный подход к выбору и внедрению инструментов БП позволит предприятиям достичь более значительных операционных улучшений в сжатые сроки. Разработанный алгоритм позволяет системно подходить к выбору инструментов БП с учетом специфики предприятия, что, в свою очередь, обеспечит обоснованный подход к формированию оптимального набора инструментов БП. Ключевыми факторами успеха мы считаем внедрение системного подхода, учет специфики производства и активное вовлечение в процесс персонала. Регулярный аудит и

корректировка инструментов БП, на наш взгляд, позволят обеспечить устойчивость достигнутых результатов и создадут основу для непрерывного совершенствования производственной системы. Последовательная реализация предложений позволят создать устойчивую систему непрерывных улучшений, обеспечивающую долгосрочные конкурентные преимущества на рынке. При этом критическими факторами успеха в процессе непрерывных улучшений должны быть активная роль руководства и вовлечение персонала.

Источники

1. Положенцева Ю.С., Чаплыгина В.А. Формирование концепции бережливого производства: сравнительный анализ зарубежных и российских подходов // Beneficium. 2025. № 1(54). С. 131–141.
2. Родионова В.Н. Методический подход к анализу производственных систем на этапе внедрения концепций бережливого производства // ЭКОНОМИНФО. 2024. № 3. С. 34–41.
3. Сергеева Т.Л., Угрюмова М.Н., Лазич Ю.В. Практическое применение lean-подхода для оптимизации бизнес-процессов предприятия // Beneficium. 2025. № 1(54). С. 142–149.
4. Фадеев С.В. Инструменты бережливого производства как фактор цифровой трансформации компании // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. 2024. № 2(26). С. 147–157.
5. Палкина Е.С., Вагин М.С. Методика оценки влияния цифровизации бережливого производства на экономическую эффективность деятельности промышленного предприятия // π-Economy. 2025. № 4(18) С. 173–185.

References

1. Polozhentseva Yu.S., Chaplygina V.A. Formation of the Lean Manufacturing Concept: A Comparative Analysis of Foreign and Russian Approaches // Beneficium. 2025. No. 1 (54). pp. 131–141.
2. Rodionova V.N. A Methodological Approach to the Analysis of Production Systems at the Stage of Implementation of Lean Manufacturing Concepts // ECONOMINFO. 2024. No. 3. pp. 34–41.
3. Sergeeva T.L., Ugryumova M.N., Lazich Yu.V. Practical Application of the Lean Approach to Optimizing Enterprise Business Processes // Beneficium. 2025. No. 1 (54). pp. 142–149.
4. Fadeev S.V. Lean manufacturing tools as a factor in a company's digital transformation // Bulletin of Volgograd State University. Economics. 2024. No. 2(26). Pp. 147–157.
5. Palkina E.S., Vagin M.S. Methodology for assessing the impact of lean manufacturing digitalization on the economic efficiency of an industrial enterprise // π-Economy. 2025. No. 4(18). Pp. 173–185.



Методика повышения эффективности инжиниринговых услуг за счет компетентностного показателя грейдирования

О.С. Цветкова,

главный специалист, ФГАОУ ВО «СПбПУ»;
Санкт-Петербург

В.А. Левенцов,

кандидат экономических наук, директор
Высшей школы передовых цифровых
технологий, ФГАОУ ВО «СПбПУ»;
Санкт-Петербург

Д.В. Богданов,

директор НОЦ «Газпромнефть-Политех»,
ФГАОУ ВО «СПбПУ»; Санкт-Петербург

Аннотация. Предложена методика повышения качества инжиниринговых услуг за счет развития компетенций. Оценка учитывает техническую экспертизу, цифровые навыки и ответственность, задавая траектории обучения и мотивации.

Ключевые слова: грейдирование, качество инженерных услуг, техническая экспертиза, цифровые инструменты проектирования, профессиональные компетенции, мотивация инженерного персонала.

Summary. A methodology for improving the quality of engineering services through competency development is proposed. The assessment takes into account technical expertise, digital skills, and responsibility, defining learning and motivation trajectories.

Keywords: grading, quality of engineering services, technical expertise, digital design tools, professional competencies, engineering personnel motivation.

Повышение качества инжиниринговых услуг

В условиях активного развития инжиниринговых услуг и роста требований к их качеству особое внимание уделяется поиску эффективных методик управления ресурсами и компетенциями. В на-

стоящей работе предложена методика, ориентированная на повышение эффективности инжиниринговых услуг через интеграцию грейдирования персонала как ключевого фактора повышения эффективности инжиниринговых услуг.

Целью исследования является повышение эффективности инжиниринговых услуг за счет адаптации методики к объекту исследования.

Для обеспечения успешной реализации инжиниринговых процессов и их интеграции в общую систему оказания услуг авторы выделяют три основных компонента (персонал, программное обеспечение, материально-техническая база), которые можно представить в виде концептуальной модели (рис. 1).

Программное обеспечение – это ключевое специализированное программное обеспечение, которое используется для выполнения расчетов, проектирования и моделирования. Оно обеспечивает точность и оперативность выполнения задач, однако его эффективность напрямую зависит от уровня подготовки персонала и технического оснащения.

Материально-техническое обеспечение представляет собой материально-техническую базу, включая оборудование и вычислительные мощности, необходимые для эффективного выполнения задач. Стабильная и актуальная материальная база повышает качество инжиниринговых услуг и позволяет использовать более сложные программные решения.

Персонал – это ключевой элемент модели, включающий сотрудников с разным уровнем компетенций и опыта.

Важно обеспечить интеграцию софта, железа и персонала, являющихся ключевыми элементами оказания инжиниринговых услуг (без любого из этих элементов системы невозможно оказывать инжиниринговые услуги), что позволит создать основу для эффективного оказания инжиниринговых услуг. Комплексное обновление материально-технической базы, приобретение передового программного обеспечения и постоянное совершенствование профессиональных компетенций сотрудников позволят вывести качество инжиниринговых услуг на новый уровень.

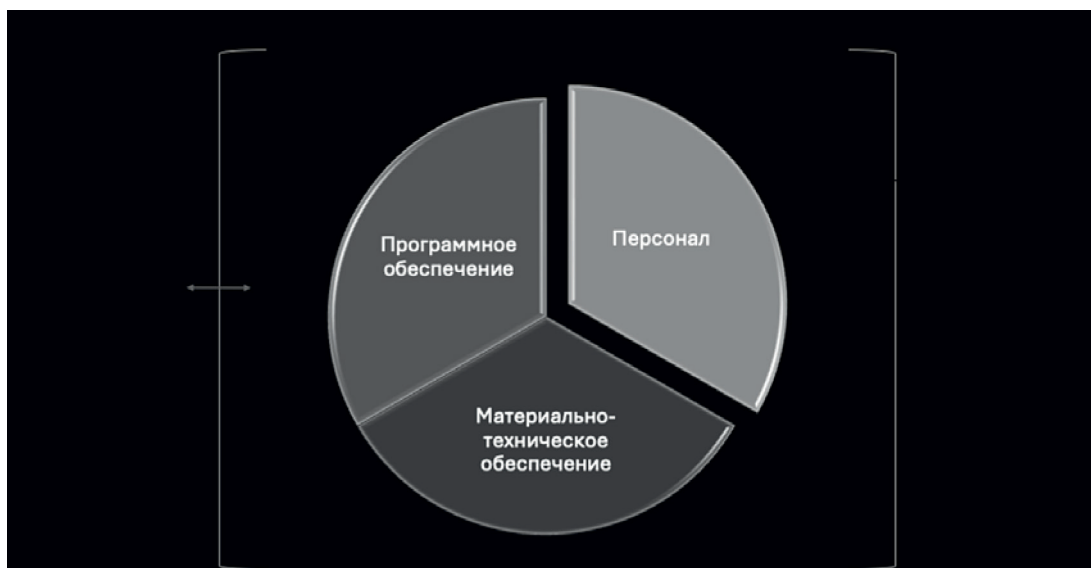


Рисунок 1. Концептуальная модель инжиниринговых услуг

Обзор существующих методик оценки должностей

Ключевым фактором повышения эффективности инжиниринговых услуг является развитие компетенций сотрудников и их соответствие требованиям к выполняемым работам.

Особую важность приобретает оценка должностей на соответствие выполняемым задачам. В табл. 1 приведена классификация существующих методик оценки должностей.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что каждая методика имеет свои сильные и слабые стороны. Классический метод Хэя [1–3] отличается простотой и понятностью, но не учитывает достаточно глубоко личностные и поведенческие особенности работников. Методы *Mercer* и *Towers Watson* [4] предлагают высокую степень гибкости и возможности адаптации под специфику различных отраслей и задач, но их внедрение требует значитель-

Таблица 1. Классификация методик оценки должностей

Название методики	Краткое описание	Преимущества	Недостатки
Аналитический балльный метод	Должности разбиваются на несколько ключевых факторов (образование, опыт, ответственность и т.д.), каждому присваиваются баллы, суммарный балл определяет грейд. При этом оцениваются требования работы, а не личные качества исполнителя	* Подробная и объективная оценка; обеспечивает прозрачность и соблюдение равной оплаты. * Учитывает многие параметры работы	* Сложность и трудоемкость внедрения; требуется квалификация оценщиков. * Возможно «перенасыщение» деталями, что затрудняет администрирование
Ранжирование и классификация	Неразмеренные методы. Ранжирование – простое упорядочение должностей по важности (от наивысшей к низшей). Классификация – распределение должностей по заранее заданным разрядам/грейдам. Не разбивает работу на отдельные факторы	* Быстро и просто в применении, не требует сложных расчетов или экспертизы. * Легко установить иерархию должностей при небольшом количестве ролей	* Низкая детализация и субъективность оценки. * Не обеспечивает равенства (игнорирует нюансы должностей и внутренние связи)



Название методики	Краткое описание	Преимущества	Недостатки
Hay Group (Korn Ferry Guide Chart)	Проприетарная методика точечного грейдинга. Оценивает должности по трем основным факторам: – знаний (Know-How), – сложности решаемых проблем (Problem Solving), – степени ответственности (Accountability). На их основе формируется грейд	* Универсальность применения – подходит многим организациям. * Справедливое распределение зарплат: каждый грейд соответствует четко определенному уровню вознаграждения. * Прозрачная карьера: понятны требования для перехода на следующий грейд	* Не подходит для очень малых компаний (обычно рекомендовано 50+ человек). * Сложные расчеты грейда, требуется обучение HR. * Игнорирует рыночные зарплаты – есть риск потери редких специалистов. * Возможны конфликты из-за изменения грейдов и зарплат
Mercer IPE (International Position Evaluation)	Международная точечная методика оценки должностей на основе пяти универсальных факторов: – влияние на бизнес (Impact), – коммуникации (Communication), – инновации (Innovation), – знания (Knowledge) и (опционально) риск (Risk). Оценка по этим факторам дает суммарный балл для грейда	* Единая система для любых стран/отраслей (глобальная унификация грейдов). * Поддерживает интеграцию кадровых процессов (планирование карьеры, управление талантами). * Гибкость и мобильность сотрудников благодаря четкой и консистентной градации ролей. * Помогает оптимизировать HR-расходы (сопоставление ролей и грейдов, улучшенная аналитика)	* Высокая сложность внедрения и затраты (требуется лицензия и консультанты Mercer). * Не рассматривает текущее состояние рынка труда напрямую (ориентирован на внутренние требования)
WTW Global Grading System (Towers Watson)	Глобальная система грейдинга Willis Towers Watson. Определяет структуру грейдов по трем этапам: – ceilings (размер компании), – banding (группировка ролей по вкладу, – grading (оценка каждой должности по стандартным факторам: масштаб, сложность, проблемность)	* Простота понимания и внедрения; единый «язык» для описания всех ролей. * Гарантирует последовательность и ограниченную бюрократию. * Ссылки на глобальные базы рынка WTW, поддерживает двойные карьерные треки и вовлекает руководителей в процесс	* Требуется участия WTW: сбор и анализ данных, часто требует приобретения доступа к их базам. * Меньшая гибкость в мелких организациях и в быстро меняющихся структурах
Компетентностный подход (SHL)	Модель грейдинга на основе компетенций. Оценивает должности по необходимым навыкам и поведению, требуемым на позиции, а не только по формальным факторам. Часто формируется на основе моделирования компетенций и психометрических тестов SHL	* Фокусирует на развитии сотрудников и ключевых навыках; помогает выстраивать карьерные треки по компетенциям	* Субъективность оценки компетенций; сложно формализовать переходы в грейдах. * Менее четко привязана к зарплатам, не учитывает многие объективные факторы работы

Источник: составлено авторами на основе анализа источников [1–9]

ных затрат времени и ресурсов на подготовку персонала. Метод *SHL* [5, 6] эффективен при необходимости глубокой оценки личностных компетенций, однако требует высококвалифицированных специалистов и может быть ресурсоемким в эксплуатации.

Учитывая специфику инженерной деятельности при оказании инжиниринговых услуг и необходимость оценки технической компетентности сотрудников, авторами была выбрана комбинированная методика, учитывающая все преимущества указанных нами методов.

Методика повышения эффективности инжиниринговых услуг

Ключевым параметром методики является понятие грейда. Под грейдом авторы понимают установленный интервал «весов» или рангов, внутри которого должности считаются равнозначными для организации и имеющими один диапазон оплаты (тариф) [7].

Предложенная авторами методика оценки и расчета грейдов базируется на комплексном подходе, направленном на максимальную объективность и прозрачность при определении грейда должности и соответствующего вознаграждения. Данная методика специально адаптирована для инженерно-технических работников нефтегазовых компаний, учитывая специфику их профессиональной деятельности, и основана на комплексной оценке по таким параметрам, как уровень ответственности, сложность выполняемых задач, требуемая квалификация и вклад в достижение стратегических целей компании.

Предложенная методика представлена на рис. 2.

Внедрение методики грейдирования начинается с тщательного анализа существующей системы оплаты труда, в ходе которого выявляются ее слабые места и определяются направления для совершенствования. Затем разрабатываются критерии оценки должностей, учитывающие специфику организации и рыночные условия. Особое внимание уделяется определению весовых коэффициентов для каждого фактора оценки, что позволяет создать сбалансированную систему.

После разработки методологии проводится оценка всех должностей в организации и их распределение по грейдам. Этот процесс требует особой тщательности, так как от его результатов напрямую зависит справедливость будущей системы оплаты труда. На основании проведенной оценки формируются зарплатные диапазоны для каждого грейда с учетом рыночных данных и финансовых возможностей компании.



Рисунок 2. Методика внедрения системы грейдирования

Важным этапом является разработка нормативной базы и обучение персонала. Сотрудникам необходимо разъяснить принципы работы новой системы, ее преимущества и перспективы, которые она открывает. Пилотное внедрение в отдельных подразделениях позволяет выявить и устранить возможные проблемы до полномасштабного запуска системы.

В рамках разработанной авторами методики были выделены 7 ключевых факторов для оценивания ролей «Специалист», «Ведущий специалист», «Главный специалист» и «Руководитель направления» с применением весовых коэффициентов, полученных на основании экспертной оценки влияния данного фактора на эффективность работы. Для примера – оценивания роли «Ведущий специалист» (табл. 2).



**Таблица 2. Ключевые факторы оценки
(для роли «Ведущий специалист»)**

№п/п	Критерий оценки	Обоснование
1	Опыт работы	Показывает зрелость сотрудника, возможность передачи накопленных знаний
2	Сложность задач	Характеризует уровень интеллектуальной нагрузки и квалификации
3	Ответственность	Отражает степень влияния сотрудника на конечный результат деятельности компании
4	Технические навыки (цифровые компетенции)	Определяют эффективность использования специализированного ПО
5	Уровень профессиональных компетенций	Оценивается через матрицу компетенций, релевантных для нефтегазовой отрасли
6	Образование	Отражает формальный уровень подготовки сотрудника
7	Знание стандартов и норм	Ключевой показатель в регулируемых технических отраслях (нефтегазовая сфера)

На основании разработанных критериев оценки итоговый грейд можно представить в виде следующей функции:

$$G=f(E, C, R, T, K, L, S),$$

где E – опыт работы:

- 1 балл – опыт от 2 до 3 лет (начальный уровень);
- 2 балла – от 3 до 5 лет (средний уровень);
- 3 балла – свыше 5 лет (высокий уровень);

C – сложность задач:

- 1 балл – простые задачи: поддержка, рутинная работа;
- 2 балла – средний уровень: задачи с анализом данных и умеренной сложностью решений;
- 3 балла – высокий уровень: проектирование, моделирование, работа с комплексными техническими проектами;

R – ответственность, оцениваемая по количеству одновременно выполняемых проектов:

- 1 балл – ответственность за 1 проект, низкая самостоятельность;
- 2 балла – ответственность за 2 проекта, умеренная самостоятельность;

- 3 балла – ответственность за 3 проекта и более, высокая самостоятельность и координация;

T – технические навыки:

- 1 балл – владение базовым пакетом офисных программ;
- 2 балла – уверенное использование специализированного отраслевого ПО (например, Petrel, Eclipse);
- 3 балла – владение тремя и более специализированными цифровыми инструментами;

K – уровень компетенций, определяемый на основании оценки по матрице компетенций, включающей 11 ключевых блоков (например, гидродинамическое моделирование, физика пласта, ГИС и керн, оптимизация разработки и др.):

- 1 балл – базовый уровень (рейтинг компетенций до 2,99);
- 2 балла – уверенный уровень (рейтинг компетенций от 3,0 до 3,49);
- 3 балла – экспертный уровень (рейтинг компетенций выше 3,5);

L – уровень образования:

- 1 балл – бакалавриат (базовое техническое образование);
- 2 балла – магистратура (расширенная техническая подготовка);
- 3 балла – профильная магистратура и дополнительное профессиональное образование;

S – знание стандартов:

- 1 балл – базовое знание стандартов;
- 2 балла – уверенное владение основными отраслевыми стандартами и внутренними регламентами;
- 3 балла – экспертное владение стандартами, возможность обучать коллег, контролировать соблюдение нормативных требований.

Для оценки итогового грейда используется формула взвешенной суммы оценок:

$$G_i = \sum g_i \times W_i,$$

где G_i – итоговый балл сотрудника для определения грейда;

g_i – балл, основанный на оценке экспертов отрасли, $g_i = [1...3]$;

W_i – вес определенного фактора, $W_i = [0...1]$;

i – категория персонала.

Полученное значение итогового балла (2,7) соотносится с заранее определенным диапазоном грейдов:

- грейд 1 (начальный): 1,0 – 1,99. Для данного грейда в качестве рекомендации для повышения

Таблица 3. Пример расчета для роли
«Ведущий специалист»

Фактор	g_i	W_p , основан- ный на оценке экспертов отрасли	G_i
Опыт работы (E)	3	0.1	0,3
Сложность задач (C)	3	0.2	0,6
Ответственность (R)	2	0.2	0,4
Технические навыки (T)	3	0.2	0,6
Уровень компетенций (K)	3	0.2	0,6
Образование (L)	2	0.05	0,1
Знание стандартов (S)	2	0.05	0,1
Итого			2,7

качества услуг необходимо провести переподготовку сотрудника по тем компетенциям, где существует значительная просадка знаний;

- грейд 2 (средний): 2,0 – 2,59. Для повышения эффективности услуг, которые предоставляются сотрудником данного грейда, предусмотрена программа повышения квалификации именно по тому направлению, где есть отклонение от эталонного значения;
- грейд 3 (высокий): 2,6 – 3,5. Для данной категории сотрудников рекомендуется повышение по должности (при наличии вакантных штатных единиц) или материального стимулирования.

Представленная методика позволит справедливо и объективно оценить вклад сотрудников и установить четкие правила карьерного и профессионального развития, что в свою очередь влияет на эффективность организации инжиниринговых услуг.

Разработанная методика отличается:

- комплексностью оценки – учет всех значимых факторов, влияющих на эффективность сотрудника;
- прозрачностью – четкие критерии оценки, понятные сотрудникам и руководителям;
- объективностью и проверяемостью – минимизация субъективности при оценке;
- адаптивностью – возможность актуализации критериев и факторов оценки при изменении условий работы и рыночных требований.

Предложенная методика позволит обеспечить необходимый баланс между простотой применения, точностью оценки, гибкостью и адаптивностью к изменяющимся рыночным условиям.

Заключение

В современных условиях усиления конкуренции за таланты, цифровой трансформации бизнеса и усложнения организационных структур создание справедливой и прозрачной системы мотивации работников приобретает стратегическое значение для компаний. Представленная методика грейдинга предлагает принципиально новый подход к управлению вознаграждением персонала, преодолевающий ограничения традиционных тарифных систем.

В отличие от устаревших моделей, ориентированных преимущественно на формальные критерии вроде стажа или образования, система грейдинга обеспечивает комплексную оценку реальной ценности каждой должности. Она учитывает такие ключевые факторы, как уровень ответственности, сложность решаемых задач, требуемые компетенции и вклад в достижение бизнес-результатов. Такой подход позволяет создать логичную и понятную архитектуру оплаты труда, одинаково справедливую для всех подразделений организации.

Важнейшее преимущество методики грейдинга персонала – ее гибкость и адаптивность. Методика позволяет оперативно реагировать на изменения рыночных условий и внутренней структуры компании, сохраняя при этом объективность и прозрачность критериев оценки. Это создает мощную мотивационную основу для профессионального роста сотрудников, ориентируя их не на формальную выслугу лет, а на развитие реальных навыков и компетенций, что в свою очередь напрямую влияет на качество услуг.

По своей сути грейдинг представляет собой не просто инструмент расчета заработной платы, а целостную систему управления стоимостью труда, гармонично балансирующую интересы бизнеса и персонала. Ее внедрение способствует формированию современной корпоративной культуры, основанной на принципах справедливости и прозрачности. Как показывает практика, грамотно реализованная система грейдинга становится не затратной статьей, а стратегической инвестицией, повышающей эффективность управления человеческими ресурсами и укрепляющей конкурентные позиции компании на рынке труда.

Данная методика может стать основой для системы организации инжиниринговых услуг, которая будет рассмотрена в ходе дальнейшего исследования.



Источники

1. Чуланова О.Л. Грейдинг как технология привлечения и удержания высококвалифицированных управленческих кадров [Электронный ресурс]. Наукovedenie. 2014. № 5(24). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/129EVN514.pdf>
2. Барина Н.В. Специфика грейдинга как современного подхода к оценке и стимулированию персонала // Экономика и социум. 2017. № 5-2(36). С. 184–189.
3. Чуланова О.Л. Применение компетентностного подхода при разработке системы оплаты труда персонала [Электронный ресурс]. Наукovedenie. 2014. № 6(25). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/15EVN614.pdf>
4. Радина О.И., Сиротенко О.Ю. Эффективность грейдовой системы оплаты труда: В сб.: Экономика и управление: теория и практика / Гл. ред. Э.Н. Рябинина. Чебоксары, 2018. С. 58–61.
5. Ульянина О.А. Компетентностный подход в научной парадигме российского образования [Электронный ресурс]. Психолого-педагогические исследования. 2018. Т. 10. № 2. С. 135–147. DOI: 10.17759/psyedu.2018100212
6. Назмиева Л.Н., Галимова А.Ш. Применение компетентностного подхода к оценке персонала в компаниях [Электронный ресурс]. Доклады Башкирского университета. 2022. Т. 7. № 1. С. 27–32. DOI: 10.33184/dokbsu-2022.1.6
7. Чемеков В.П. Грейдинг: технология построения системы управления персоналом. М.: Вершина, 2007. 208 с.

References

1. Chulanova O.L. Grading as a Technology for Attracting and Retaining Highly Qualified Management Personnel [Electronic resource]. Naukovedenie. 2014. No. 5(24). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/129EVN514.pdf>
2. Barinova N.V. Specifics of Grading as a Modern Approach to Personnel Assessment and Incentives // Economy and Society. 2017. No. 5-2(36). pp. 184–189.
3. Chulanova O.L. Application of a Competency-Based Approach in Developing a Personnel Remuneration System [Electronic resource]. Naukovedenie. 2014. No. 6(25). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/15EVN614.pdf>
4. Radina O.I., Sirotenko O.Yu. Efficiency of the Grade Remuneration System: In the collection: Economics and Management: Theory and Practice / Ed. E.N. Ryabinina. Cheboksary, 2018. pp. 58–61.
5. Ulyanina O.A. Competency-based approach in the scientific paradigm of Russian education [Electronic resource]. Psychological and pedagogical research. 2018. Vol. 10. No. 2. pp. 135–147. DOI: 10.17759/psyedu.2018100212
6. Nazmieva L.N., Galimova A.Sh. Application of the competency-based approach to personnel assessment in companies [Electronic resource]. Reports of the Bashkir University. 2022. Vol. 7. No. 1. pp. 27–32. DOI: 10.33184/dokbsu-2022.1.6
7. Chemekov V.P. Grading: technology for constructing a personnel management system. Moscow: Vershina, 2007. 208 p.

Применение цифровых методов наблюдения за процессом сепарации семян в машиностроительном оборудовании

Е.Л. Царегородцев,

канд. техн. наук, доцент,
НИУ МЭИ, Смоленский филиал; г. Смоленск

Н.А. Привольнев

магистрант, НИУ МЭИ, Смоленский
филиал; г. Смоленск
e-mail: smonekit67@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается применение цифровых методов, основанных на машинном зрении, для мониторинга процесса сепарации семян в машиностроительном оборудовании. Описана авторская система, включающая камеру, блок обработки данных и нейросетевой алгоритм анализа. Проведено моделирование, показавшее высокую точность распознавания дефектов и загрязнений семенного материала. Система функционирует в реальном времени, снижая потери и повышая стабильность работы оборудования. Подчеркивается практическая значимость внедрения цифровых технологий в агропромышленный сектор, а также перспективность интеграции интеллектуального контроля в конструкцию сельскохозяйственной техники.

Ключевые слова: сепарация, машинное зрение, цифровой мониторинг, агропромышленная техника, сенсоры, нейросеть, автоматизация, контроль качества, обработка изображений, интеллектуальные системы, технологический процесс, зерноочистка.

Summary. The article examines the application of digital methods based on machine vision for monitoring the seed separation process in agricultural machinery. The author describes a system that includes a camera, a data processing unit, and a neural network analysis algorithm. Simulation results demonstrate high

accuracy in detecting seed defects and contamination. The system operates in real time, reducing losses and increasing the stability of equipment performance. The paper emphasizes the practical significance of implementing digital technologies in the agro-industrial sector and highlights the potential for integrating intelligent control systems into the design of agricultural machines.

Keywords: separation, machine vision, digital monitoring, agro industrial machinery, sensors, neural network, automation, quality control, image processing, intelligent systems, technological process, grain cleaning.

Введение

Развитие сельскохозяйственного машиностроения требует внедрения инструментов, обеспечивающих стабильность технологических операций при минимизации человеческого участия. Особое значение приобретает повышение точности процессов, непосредственно влияющих на качество готовой продукции и производственные потери. Этап сепарации семян относится к числу критических, поскольку его параметры оказывают прямое воздействие на эффективность дальнейшей переработки и хранения сырья. Недостаточный контроль за ходом сепарации способен привести к снижению урожайности, перерасходу ресурсов и сбоям в работе всего комплекса. Традиционные методы наблюдения, основанные на визуальной оценке оператором, не обеспечивают необходимой точности и воспроизводимости. В условиях повышения требований к качеству продукции особую актуальность приобретают системы технического зрения. Машинное зрение позволяет фиксировать изменения в характеристиках потока семян и автоматически выявлять отклонения от заданных норм. Использование таких систем дает возможность адаптировать работу оборудования к текущим условиям, своевременно реагировать на сбои и обеспечивать постоянный контроль без



снижения производительности. Целью настоящей работы является разработка и описание цифровой системы мониторинга процесса сепарации семян с применением методов машинного зрения, обеспечивающей повышение точности и устойчивости работы агротехнического оборудования.

Обзор существующих решений

Современные агротехнические процессы предъявляют все более жесткие требования к точности, устойчивости и автоматизации всех этапов обработки сельскохозяйственного сырья. На этапе сепарации формируются критически важные характеристики семенного материала (чистота, фракционный состав и отсутствие включений), от которых зависят эффективность хранения, переработки и агрономическая ценность продукта. Контроль за ходом сепарации традиционно осуществлялся оператором визуально, что делало систему управления уязвимой для человеческого фактора, снижало воспроизводимость результатов и затрудняло адаптацию к изменяющимся параметрам потока продукции [1].

В связи с этим в последние годы наблюдается активное развитие технологий автоматизированного наблюдения и управления, основанных на цифровых методах. В технической литературе представлены разнообразные решения, среди которых можно выделить три основных направления: использование фотосенсоров для регистрации прохождения частиц через контрольные точки, применение лазерных сканеров для анализа формы и размера, а также системы видеонаблюдения с последующей цифровой обработкой изображений.

Фотосенсорные системы обеспечивают высокую скорость отклика и простоту реализации, однако ограничены в точности и неспособны различать сложные дефекты семян или посторонние включения [2]. Лазерные методы позволяют более точно определить геометрические параметры частиц, но требуют высокой точности настройки и стабильных условий эксплуатации, что ограничивает их применение в полевых и производственных условиях.

Сегодня наиболее перспективным направлением считаются системы машинного зрения, позволяющие в реальном времени анализировать визуальные характеристики потока семян. Такие системы используют камеры высокого разрешения в сочетании с алгоритмами обработки изображений, включая методы фильтрации, бинаризации, сегментации, а также современные нейросетевые архитектуры, основанные на сверхточных сетях (CNN) [3]. Преимущество машинного зрения заключается в его способности выполнять контекст-

ный анализ сцены и различать сложные паттерны, которые не фиксируются сенсорными средствами. Кроме того, системы могут самообучаться на основе накопленных данных, повышая точность классификации и адаптивность к различным сортам и условиям работы.

В ряде публикаций описано применение машинного зрения на сортировочных линиях в зерноочистительных комплексах. Например, в работе [4] реализована система, способная распознавать загрязнение и деформированные зерна с точностью до 94% при скорости анализа до 25 кадров в секунду. В других исследованиях указывается на использование интегрированных решений, сочетающих машинное зрение с исполнительными механизмами, позволяющими динамически изменять параметры сепарации в зависимости от текущей картины потока. Также ведутся разработки по использованию гиперспектрального анализа в сочетании с визуальными данными, однако такие решения требуют значительных вычислительных ресурсов и пока не адаптированы для серийного применения в агропромышленности.

Авторская разработка системы наблюдения

Анализ существующих подходов демонстрирует наличие значительного потенциала для внедрения интеллектуальных систем контроля в сферу сельскохозяйственного машиностроения. Наиболее эффективными с точки зрения универсальности и точности распознавания признаются решения, основанные на машинном зрении с использованием нейросетевых алгоритмов. Работа системы осложняется ограниченными ресурсами встроенных вычислителей, нестабильным фоном производственной среды (пыль, вибрации, перепады освещения) и различиями в свойствах семенного материала [5]. Эти вызовы определяют актуальность создания новых, более универсальных моделей цифровых систем наблюдения, ориентированных на работу в реальных производственных условиях.

Разработка цифровой системы мониторинга процесса сепарации семян выполнена с опорой на принципы модульности, масштабируемости и адаптивности. Система проектировалась с учетом требований к работе в условиях пылеобразования, нестабильного освещения и переменной скорости потока. Архитектура решения включает четыре ключевых компонента: модуль визуализации, блок первичной обработки данных, программный модуль нейросетевого анализа и операторский интерфейс управления. Структура комплекса представлена в таблице.

Структура цифровой системы наблюдения

Компонент	Функция	Технология
Камера высоко-го разрешения	Получение изображения потока семян	CMOS, 60 fps
Блок обработки	Анализ изображений, фильтрация шума	NVIDIA Jetson
ПО с нейросетью	Распознавание семян, выявление отклонений	PyTorch, CNN
Интерфейс оператора	Отображение данных и тревог	Панель HMI

В качестве сенсорного элемента выбрана камера с CMOS-матрицей, обеспечивающая съемку с частотой 60 кадров в секунду. Камера монтируется в верхней части корпуса сепаратора и ориентирована на поток семян, движущийся по лотку. Устройство обеспечивает устойчивую передачу изображения в условиях вибрации и пылевой нагрузки за счет герметичного корпуса и системы активной стабилизации.

Поток видеоданных поступает на блок обработки, построенный на базе платформы NVIDIA Jetson Nano [6]. Этот модуль осуществляет предварительную фильтрацию шума, приведение изображения к заданному разрешению, а также выделение объектов интереса на основе цветовых и текстурных признаков. Использование GPU-ускорения позволяет обрабатывать данные без задержек, что критически важно для синхронизации с движением механических частей сепаратора.

Основу интеллектуального анализа составляет программное обеспечение, реализующее архитектуру сверточной нейронной сети, обученной на выборке изображений, сформированной в результате натурных экспериментов. Обучающая база включает более 10 тыс. изображений, полученных с различным уровнем засоренности, дефектов и включений. Аннотирование данных выполнено вручную с последующей валидацией. Сеть обучена классифицировать объекты по трем основным признакам: соответствие сорту, наличие дефектов поверхности, принадлежность к посторонним примесям.

При анализе видеопотока нейросеть формирует карту отклонений, на основе которой в режиме реального времени принимаются решения о корректировке параметров сепарации. Например, при обнаружении превышения допустимого уровня загрязнения система передает управляющий

сигнал на исполнительные элементы, регулирующие скорость вентиляции или вибрации сит.

Интерфейс оператора выполнен в виде панели HMI с визуализацией текущих показателей, графиками активности системы и сообщениями о выявленных отклонениях. В интерфейс встроен архив событий и возможность экспорта отчетов о ходе процесса сепарации. Для устойчивости работы предусмотрен автономный режим при временном обрыве связи с внешним контроллером.

Программное обеспечение поддерживает механизм дообучения сети в процессе эксплуатации. Это обеспечивает адаптацию к новым сортам семян и изменяющимся условиям работы, что особенно важно при переходе между кампаниями или при смене обрабатываемой культуры.

Разработанная система не только фиксирует визуальные параметры потока семян, но и активно управляет процессом сепарации, минимизируя влияние внешних факторов и снижая потери. Сочетание машинного зрения, нейросетевых алгоритмов и операторского интерфейса позволяет реализовать принцип интеллектуального управления в агротехнической среде.

Для проверки работоспособности и точностных характеристик разработанной цифровой системы наблюдения выполнены два этапа оценки: имитационное моделирование в среде MATLAB Simulink и экспериментальное тестирование на лабораторном стенде. Основное внимание уделено определению точности классификации семян, времени отклика системы и влиянию внедрения на технологические показатели сепарации.

На этапе моделирования формировались сценарии прохождения семенного материала с различными параметрами: размер, форма, загрязнение, наличие дефектов и посторонних включений. Использовались реальные видеоданные, полученные при помощи промышленной камеры, и размеченные вручную изображения для последующего сравнения с результатами анализа. Расчеты точности классификации проводились с применением трех метрик: полнота (recall), точность (precision) и F-мера. При средней нагрузке потока система достигла точности 96,3%, полноты 94,7%, значение F-меры составило 95,5%.

На втором этапе проводилось тестирование прототипа в реальных условиях. Стенд включал камеру с разрешением 1920×1080 пикселей и частотой 60 кадров в секунду, блок обработки на базе NVIDIA Jetson и программное обеспечение с нейросетевым алгоритмом. Эксперименты выпол-



нялись при стабильной и переменной освещенности, наличии пыли и вибраций. Время между фиксацией отклонения и формированием сигнала управления не превышало 0,18 секунды. Такой результат подтверждает возможность использования системы в линиях, работающих в реальном времени.

Проведен анализ влияния внедрения цифрового наблюдения на параметры сепарации. Потери семенного материала уменьшились на 7–10% по сравнению с контролем, основанным на ручной настройке. Это связано с тем, что автоматическая корректировка параметров снижает долю ошибок оператора. Также зафиксировано сокращение энергозатрат в среднем на 4,2% благодаря адаптивному режиму работы вентиляционных и вибрационных узлов. При этом надежность оборудования увеличивается за счет раннего реагирования на нестабильность потока и предотвращения перегрузок.

Надежность программного обеспечения проверялась в ходе непрерывной 72-часовой работы. Алгоритмы стабильно выполняли анализ видеопотока при переменных условиях освещения и уровне шума. Пороговые значения адаптировались в процессе эксплуатации, что обеспечивало стабильность функционирования без необходимости внешнего вмешательства.

Результаты испытаний показывают, что предложенная система обеспечивает точный контроль за процессом сепарации, поддерживает устойчивую работу оборудования и снижает производственные потери. Это подтверждает целесообразность использования цифровых методов наблюдения с применением машинного зрения в агропромышленной технике.

Заключение

Реализация цифровой системы наблюдения за процессом сепарации семян на базе машинного зрения продемонстрировала высокую эффективность в условиях моделирования и экспериментального тестирования. Разработанный программно-аппаратный комплекс позволил добиться точного распознавания нарушений в структуре потока семян, снизить производственные потери и повысить надежность работы оборудования. Использование нейросетевых алгоритмов обеспечило адаптацию системы к изменяющимся условиям технологического процесса, в том числе к переменной освещенности, загрязненности и нестабильности подачи материала. Полученные значения точности рас-

познавания (до 96%) и скорость отклика системы подтверждают ее пригодность для интеграции в действующие технологические линии.

На основании проведенных испытаний можно утверждать, что разработанная система соответствует требованиям, предъявляемым к интеллектуальным системам контроля в агропромышленной сфере [7]. Ее применение способствует повышению технологической дисциплины, снижению влияния человеческого фактора и улучшению качества исходного материала. Результаты работы создают предпосылки для дальнейшего расширения области применения машинного зрения в аграрном машиностроении, в том числе в направлениях классификации сортов, обнаружения скрытых дефектов и интеграции с автоматизированными системами управления производственными комплексами.

Источники

1. Фэн Ю., Чжао С., Тянь Ж., Лян Ч., Лю Ц., Фань С. Исследование интеллектуального метода сортировки семян и сортировочного устройства на основе машинного зрения и облегченной модели YOLOv5n // *Agronomy*. 2024. Т. 14. № 9. С. 1953. DOI: 10.3390/agronomy14091953
2. Лю С., Чжан С. И др. Применение машинного зрения в растениеводстве: текущее состояние и перспективы // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Т. 214. Ст. 108193. DOI: 10.1016/j.compag.2024.108193
3. Мартинес Х., Джаянти Р. и др. Оценка качества семян с использованием компьютерного зрения и глубокого обучения // *SSRN Electronic Journal*. 2024. DOI: 10.2139/ssrn.5271276
4. Мавриду Э., Константинову И. и др. Системы машинного зрения в точном земледелии для мониторинга и сортировки сельхозпродукции: Обзор // *Sensors*. 2019. Т. 19. № 22. С. 4805. DOI: 10.3390/s19224805
5. Фракаротти Ж.А., Массути Ф. и др. Компьютерное зрение в пищевой и сельскохозяйственной промышленности: Обзор // *Revista Ciência Agronômica*. 2020. Т. 51. № 3. С. e20196856. DOI: 10.5935/1806-6690.20200057
6. Ямпиров С.С., Нехуров Н.А. Анализ способов очистки и сортирования зерна сепараторами с использованием технического зрения // *Научный альманах*. 2025. № 1–4(123). С. 98–101. EDN XTWEJC
7. Газаль С., Прашант П. и др. Компьютерное зрение в умном сельском хозяйстве: обзор интеллектуальных систем на основе визуального анализа // *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*. 2024. Т. 36. № 3. С. 351–364. DOI: 10.1016/j.jksuci.2024.03.015



References

1. Feng Y., Zhao X., Tian R., Liang C., Liu J., Fan X. Intelligent seed sorting method and sorter based on machine vision and lightweight YOLOv5n. *Agronomy*. 2024;14(9):1953. doi:10.3390/agronomy14091953.
2. Liu X., Zhang S., et al. Application of machine vision in crop production: current state and prospects. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024;214:108193. doi:10.1016/j.compag.2024.108193.
3. Martinez H., Jayanti R., et al. Seed quality assessment using computer vision and deep learning. *SSRN Electronic Journal*. 2024. doi:10.2139/ssrn.5271276.
4. Mavridou E., Konstantinou I., et al. Machine vision systems in precision agriculture for monitoring and sorting agricultural products: a review. *Sensors*. 2019;19(22):4805. doi:10.3390/s19224805.
5. Fracarolli J.A., Massuti F., et al. Computer vision applied to food and agricultural industries: a review. *Revista Ciência Agronômica*. 2020;51(3):e20196856. doi:10.5935/1806-6690.20200057.
6. Yampilov, S. S. Analysis of methods for cleaning and sorting grain with separators using machine vision / S. S. Yampilov, N. A. Nekhurov // *Scientific almanac*. – 2025. – No. 1-4 (123). – P. 98-101. – EDN XTWEJC.
7. Ghazal S., Prashant P., et al. Computer vision in smart agriculture: a review of vision based intelligent systems. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*. 2024;36(3):351–364. doi:10.1016/j.jksuci.2024.03.015.

Отделению подъемно-транспортных, строительных, дорожных, горных машин и спецавтотранспортных средств МОО «Академия проблем качества имени В.В. Бойцова» – 30 лет

Б.В. Бойцов,

д-р техн. наук, МАИ (НИУ); Москва

Е.П. Плавельский,

д-р техн. наук, НИУ МГСУ,
ООО «ИЦ «ЦНИП СДМ»; Москва

А.М. Агарков

канд. техн. наук, НИУ МГСУ; Москва

Аннотация. Приведен анализ результатов работы Отделения подъемно-транспортных, строительных, дорожных, горных машин и спецавтотранспортных средств Академии проблем качества имени В.В. Бойцова в течение 30 лет.

Ключевые слова: учредительное собрание, Отделение Академии проблем качества, Президиум АПК, члены Отделения, секции Отделения, роботизация, итоги работы.

Summary. This article presents an analysis of the results of the Department of Lifting and Transport, Construction, Road, Mining Machinery, and Specialized Vehicles of the V.V. Boytsov Academy of Quality Problems over 30 years.

Keywords: founding meeting, Department of the Academy of Quality Problems, Presidium of the AIC, Department members, Department sections, robotics, work results

Президиумом МОО «Академия проблем качества» (далее – Академия) 12 февраля 1996 г. принято решение о создании на базе Московского государственного строительного университета (МГСУ) Отделения подъемно-транспортных, строительных, дорожных, горных машин и спецавтотранспортных средств Академии (далее – Отделение).

17 июня 1996 г. на заседании Ученого совета МГСУ состоялось учредительное собрание Отделения. По предложению участников собрания в рабочий президиум собрания были избраны первый вице-президент Академии, заведующий кафедрой Московского авиационного института, доктор технических наук, профессор Борис Васильевич Бойцов и декан механического факультета, заведующий кафедрой МГСУ, доктор технических наук, профессор Дмитрий Павлович Волков.

Рабочий президиум единогласно поддержал решение Президиума Академии об организации Отделения подь-

емно-транспортных, строительных, дорожных, горных машин и спецавтотранспортных средств Академии.

Руководителями Отделения стали: президент – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных машин, академик Дмитрий Павлович Волков, вице-президент – доктор технических наук, профессор, директор АНО «ТрансСДГМтест» Евгений Порфирьевич Плавельский и вице-президент – доктор технических наук, профессор, руководитель Управления машиностроения Госстандарта Российской Федерации Вячеслав Витальевич Шильдин.

В состав Отделения были приняты индивидуальные и коллективные члены, а также были утверждены секции Отделения. Таким образом, Отделение было полностью готово к практической работе, соответствующей его отраслевой специфике.

Позже, в 1998 г. название Отделения было уточнено как «Региональная общественная организация «Отделение подъемно-транспортных, строительных, дорожных, горных машин и спецавтотранспортных средств» Академии с указанием основных целей деятельности:

- содействие развитию научных основ обеспечения и управления качеством продукции;
- проведение комплексных исследований проблем качества подъемно-транспортных, строительных, дорожных, горных машин и спецавтотранспортных средств на стадиях исследования, проектирования, изготовления, оценки соответствия и эксплуатации.

Деятельность Отделения в течение 30 лет разделилась на 7 этапов по годам: 1-й этап – 1996–2000 гг., 2-й этап – 2001–2003 гг., 3–4-й этапы – 2004–2009 гг., 5-й этап – 2010–2012 гг., 6-й этап – 2013–2015 гг., 7-й этап – 2016–2026 гг.

В настоящее время число действительных членов и членов-корреспондентов составляет 45 человек. После ухода из жизни некоторых руководителей Отделения, внесших большой и неоценимый вклад в его деятельность и развитие: академика В.В. Шильдина, академика Д.П. Волкова и Е.М. Кудрявцева, руководство Отделением перешло к вице-президентам Е.П. Плавельскому и В.С. Котельникову.

На сегодня в отделении по тематике подъемно-транспортных, строительных, дорожных, горных машин и спецавтотранспортных средств функционируют следующие секции:

1. «Роботизация и инновационные технологии» (руководитель – член-корреспондент А.М. Агарков, заведующий кафедрой «Механизация, автоматизация и роботизация строительства» НИУ МГСУ);
2. «Обеспечение качества на стадии создания и производства» (руководитель – академик В.А. Зорин, профессор МАДИ – МГТУ);
3. «Исследования, безопасность и надежность» (руководитель – академик Р.Р. Шарипов, профессор кафе-

дры «Механизация, автоматизация и роботизация строительства» НИУ МГСУ);

4. «Обеспечение повышения качества ремонта и эксплуатации» (руководитель – академик Ю.И. Густов, профессор кафедры «Механизация, автоматизация и роботизация строительства» НИУ МГСУ);

5. «Разработка нормативных документов по качеству» (руководитель – академик Н.И. Ивашков, генеральный директор ООО НПП «Подъемтранссервис»).

Коллектив Отделения в составе секций и самостоятельно каждый участник принимают активное участие в разработке научных и практических работ, которые изначально включались в тематику научных работ членов Академии Ю.И. Гудкова, Е.Г. Гологорского, А.Л. Ершова, В.С. Котельникова, Ф.К. Клашанова, Н.Н. Карнаухова, Е.М. Кудрявцева, В.М. Морсина, А.Н. Орлова, Е.П. Плавельского, А.А. Рожкова, Н.И. Селиванова, А.И. Тархова, П.И. Чутчикова и других и публиковались в сборнике тематических работ членов Академии.

Особенно важно отметить следующие работы:

1. Разработка требований и методов испытаний по оценке устойчивости транспортных средств, перевозящих жидкотекучие, в том числе опасные грузы;

2. Участие в разработке национальных стандартов Российской Федерации стандартов по управляемости и устойчивости автотранспортных средств ГОСТ Р 52302–2004, Правил ЕЭК ООН № 111 совместно с НИЦИАМТ НАМИ, а также в рамках технического комитета ТК/МТК 267 «Строительно-дорожные машины и оборудование», свыше 80 стандартов. Продолжается работа с МТК/ТК 267;

3. Введение в эксплуатацию участка по производству приборов безопасности и других узлов грузоподъемного оборудования на Ивантеевской площадке АО «ЦНИП СДМ»;

4. Комплекс «Мотовилиховские заводы» оценен Государственной премией за выпуск высококачественных автомобильных кранов (член Отделения член-корреспондент Ю.Ф. Тимин стал Лауреатом премии);

5. Подготовлен и издан первый том по строительным и дорожным машинам и оборудованию Архитектурно-строительной энциклопедии под редакцией академика Д.П. Волкова;

6. Участие в организации и проведении ежегодных Международных научно-технических конференций «ИНТЕРСТРОЙМЕХ», где ежегодно заслушивается до 90 докладов, посвященных повышению качества подъемно-транспортных, строительных, дорожных, горных машин и спецавтотранспортных средств;

7. Подготовлен и издан первый в стране учебник «Лифты» для подготовки инженеров и ИТР в лифтовой области;

8. Подготовлен подробный доклад академика В.С. Котельникова «О реформировании системы промышленной безопасности в России»;

9. Членами Отделения подготовлены предложения по корректировке постановления Правительства Российской Федерации «Об ограничении импорта специальной и строительно-дорожной техники», а также Инструкции по отнесению отдельных видов продукции СДМ к не имеющей аналогов в производстве Российской Федерации и Евразийского экономического союза;

10. С участием Отделения разработаны предложения по созданию единых методических указаний по оценке остаточного ресурса и продления срока службы металлоконструкций машин и оборудования, отработавших нормативный срок службы.

Многие проблемные доклады рассмотрены и обсуждены на общих собраниях Отделения с рекомендациями к опубликованию, среди них:

1. Новые перспективные технологии и материалы в строительно-дорожных и транспортных машинах (академик В.А. Зорин);

2. О проблемах импортозамещения строительных, дорожных, подъемно-транспортных машин и прицепной техники (академик М.В. Струк);

3. Цифровое моделирование при создании подъемно-транспортных, строительных, дорожных, горных машин и спецавтотранспортных средств (академик Е.М. Кудрявцев);

4. Формирование в Российской Федерации системы независимой оценки квалификации работников в сфере подъемных сооружений на основе профессиональных стандартов (академик В.А. Сушинский, академик Н.И. Ивашков);

5. Актуальные проблемы в области промышленной безопасности (академик В.С. Котельников);

6. О повышении качества машиностроительных предприятий (академик С.Н. Николаев);

7. Об участии Отделения в работе технического комитета ТК/МТК 267 (академик Е.П. Плавельский, академик С.А. Сурков, член-корреспондент А.М. Агарков);

8. Совершенствование методологии оценки качества высокопроизводительного экскавационного оборудования большой единичной мощности (академик А.Е. Плавельский);

9. Ведется постоянная работа по восстановлению утраченных позиций в производстве подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин по импортозамещению (академик Г.В. Кустарев, академик М.В. Струк).

Члены Отделения принимали активное участие в организации и проведении научно-технических конференций молодых ученых, аспирантов и студентов. По результатам Всероссийского конкурса научно-исследовательских работ молодых ученых соискатель Н.И. Баурова (руководитель – академик В.А. Зорин) была награждена Премией Президента Российской Федерации.

Членами Отделения опубликовано свыше 50 учебников и монографий, получено более 40 патентов на изобретения и промышленные образцы машин и оборудования. По результатам исследований опубликовано большое количество научных статей в различных издательствах, в том числе Института машиноведения Академии наук Российской Федерации.

По результатам совершенствования подъемно-транспортной техники члены Отделения академик В.С. Котельников и член-корреспондент Ю.Ф. Тимин стали лауреатами Государственных премий. Награждены медалями качества академики С.Н. Николаев (медалью И.А. Ильина), Ю.И. Густов, В.С. Котельников, Е.М. Кудрявцев, А.Е. Плавельский, Е.П. Плавельский (медалями «За верность качеству»).

Задачи, которые ставит перед собой коллектив Отделения, определяются резолюцией конференции МОО «Академия проблем качества имени В.В. Бойцова», посвященной 30-летию ее создания.

Поздравляем всех причастных с юбилеем Отделения подъемно-транспортных, строительных, дорожных, горных машин и спецавтотранспортных средств и приглашаем новых членов в наши ряды!