

На правах рукописи

**СКВОРЦОВА ДАРЬЯ АЛЕКСАНДРОВНА**



**МЕТОДОЛОГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ**

2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Иркутск – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА) и федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН)

- Научный консультант:** **Рагуткин Александр Викторович**  
доктор технических наук, ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН), и.о. директора
- Официальные оппоненты:** **Савич Екатерина Константиновна**  
доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», профессор кафедры производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении (г. Самара)
- Полякова Марина Андреевна**  
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», профессор кафедры обработки металлов давлением им. М.И. Бояршинова (г. Магнитогорск)
- Галкин Виктор Иванович**  
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (МАИ)», профессор кафедры технологии и системы автоматизированного проектирования металлургических процессов (г. Москва)
- Ведущая организация:** федеральное государственное автономное учреждение науки Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук» (г. Москва)

Защита диссертации состоится «28» декабря 2026 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета ИРНИТУ.05.04 при Иркутском национальном исследовательском техническом университете по адресу: 664074, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83, корпус «К», конференц-зал.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» и на официальном сайте университета [www.istu.edu](http://www.istu.edu).

Отзывы на автореферат (в 2-х экземплярах, подписанные и заверенные печатью организации) просим выслать по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ИРНИТУ; Ученому секретарю диссертационного совета ИРНИТУ.05.04 Головиной Е.Ю., e-mail: [elena\\_uspeh@mail.ru](mailto:elena_uspeh@mail.ru).

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, к.э.н.



Е.Ю. Головина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

Организация систем управления на машиностроительных предприятиях является актуальной задачей при адаптации к реалиям цифровой трансформации. Предприятия увеличивают уровень использования информационных технологий в целях повышения эффективности производств и множество используемых на предприятии информационных систем являются частью системы управления.

Однако процесс цифровизации, информатизации, автоматизации проходит без анализа поведения производственной системы с точки зрения теории систем управления, что приводит к потере устойчивости и накоплению ошибок управления. При этом организация самих автоматизированных систем управления также влияет на качество продукции. Информационные компьютерные технологии составляют неотъемлемую часть поддержки жизненного цикла продукции на всем его протяжении. Необходимость обеспечения эффективности материальных и виртуальных производств способствовала внедрению аналитических, системных и процессных методов создания продукции.

Состав конкретного изделия, технология его изготовления, методы организации производства, системы менеджмента качества проектируются с использованием методологии управления жизненным циклом наукоемкой продукции и регламентированы ГОСТ Р ИСО 9001 и рекомендуют использование электронных структур изделий (ЭСИ). ЭСИ используют для организации сквозного информационного обмена в рамках интегрированной информационной среды между PDM-системой управления данными об изделии, ERP-системами управления производством, ILS-системой управления эксплуатацией и т.д., в том числе и на уровне первичных и вторичных документов, полученных автоматизированным способом.

Реорганизация производства приводит к необходимости изменения технологической архитектуры, а также интеграции автоматизированных систем с оборудованием. Однако недостаточная стандартизация в данной области является сдерживающим фактором. В качестве решения проблемы в сфере цифрового производства выступила разработка эталонных архитектурных моделей. Эталонная архитектура определяется как формализованная система принципов, правил и методологических положений, регламентирующих описание физических производственных систем в цифровом пространстве.

Решением проблемы является организация архитектур автоматизированных систем модели цифрового производства с учетом заданного уровня качества. Архитектура автоматизированных систем управления производством должна быть спроектирована таким образом, чтобы поддерживать управление жизненным циклом без структурной и функциональной избыточности. Так же организация взаимодействия с системами на внешнем уровне должна учитывать эргатические подходы для обеспечения точности и быстродействия выполнения операций производственного процесса.

Актуальной является проблема оценки, анализа и оптимизации архитектур автоматизированных систем управления с точки зрения обеспечения отраслевой эффективности производства продукции, информационной безопасности, киберугроз, обработки и защиты данных, защиты интеллектуальной собственности, эргономики и др.

Одной из важных задач при проектировании автоматизированных систем управления машиностроительным производством на концептуальном уровне является вычислительная сложность, обозначающая функцию зависимости объема работы, кото-

рая выполняется некоторым алгоритмом, от размера входных данных. Актуальным является сравнительный анализ точных (дискретных, основанных на переборе) и эвристических алгоритмов для поиска оптимального решения.

Построение сложной архитектуры автоматизированной системы управления машиностроительным производством следует рассматривать с точки зрения систем управления (СУ). Для оценки качества в архитектуре должны присутствовать все элементы СУ, которые позволяют реализовать основные процессы. Тогда количественной оценкой качества допустимо использовать величину ошибки, которая описывается с помощью дифференциального уравнения и зависит от большого количества параметров системы.

Для выбора оптимальной архитектуры необходимо применять алгоритмы оптимизации, основанные на объективной оценке системы на всех уровнях. Для принятия решений в режиме реального времени и реконфигурации системы для адаптации под условия конкретного предприятия можно использовать современные подходы для построения системы поддержки.

**Степень разработанности темы исследования.** Цифровая трансформация является стратегическим процессом преобразования машиностроительного производства. Для определения зрелости предприятий к цифровой трансформации существуют различные инструменты: метод «Структура цифровой зрелости», метод «Оценка цифровой зрелости» на основе разработок MIT, метод «Индикатор цифровой зрелости» от компании Google, авторский метод от S. Barry, S. Assoul, N. Souissi. В России также были созданы свои модели оценки цифровой зрелости. Одной из самых известных считается модель «Организационное цифровое производство», разработанная Московской школой управления Сколково. Новый модуль в рамках Государственной информационной системы промышленности Минпромторг запустил тестирование «Цифрового паспорта промышленного предприятия».

Различные принципы построения эталонных архитектур автоматизированных систем находят отражение в различных международных и российских стандартах: ГОСТ Р ИСО/МЭК 20547, ГОСТ Р 59799-2021, IEC 62890:2020, IEC 62243:2012, ANSI/ISA-95, ISO/IEC 62264 и др. Наиболее известные модели референтных архитектур - это модели референтной архитектуры Industry 4.0 (RAMI 4.0 - Reference architecture model Industrie 4.0) и референтной архитектуры промышленного Интернета (IIIRA - Industrial Internet Reference Architecture). Чтобы соответствовать новым требованиям, исследуется несколько новых производственных парадигм: бионическая, генетическая, фрактальная, случайная, виртуальная и колониальная (исследователи в этой области: Боранджиу Т., Бонгаертс Л., Буркхорст А. Ф., Дилигенский Н.В., ДUFFИ Н.А., Киттури Р., Моу Дж.И., Пищухина Т.А., Пушкарёва М.Б., Скобелев П.О., Шкарупета Е.В.).

Исследования и разработки в области анализа качества автоматизированных систем управления на сегодняшний день ограничиваются выработкой групп критериев. Одни из самых популярных и используемых описаны в работах следующих авторов: ДеЛоне В.Х., Дружинин Г.В., Дубов Ю.А., МакЛин Э.Р., Пальмиус Дж., Травкин С.И., Якимец В.Н. Однако методы расчета множеств критериев, предложенных этими авторами, до сих пор не имеют однозначных и единых подходов и остаются не ясны.

Выбор и обоснование оптимальных решений при проектировании архитектур автоматизированных систем управления и построения логики взаимодействия пользователей с системой является сложной многокритериальной задачей. Исследования в

этой области осуществлялись следующими авторами: Батищев Д.И., Галкин В.И., Дубов Ю.А., Кравченко И.Н., Соболев И.М., Статников Р.Б., Травкин С.И., Штойер Р., Якимец В.Н.

С использованием метода комбинаторной оптимизации по Парето можно проводить оптимизацию систем управления. Однако показатели, связанные с эргономикой, индивидуальным восприятием пользователя не учитываются при проектировании автоматизированной системы управления из-за сложности проведения оценки. Эту часть критериев можно анализировать с использованием алгоритмов нечеткого логического вывода. На сегодняшний день использование нечеткой логики развивается следующими учеными: Грибин М.А., Измуханов Е.А., Кочеганов Д.М., Кульмамиров С.А., Махмадиев Б.С., Маруцак Л. И., Зернов М.М., Штовба С.Д.

Оценка качества алгоритмов, как части архитектуры системы управления производством, является NP-полной задачей. Для ее решения различными авторами предлагается использование метаэвристических алгоритмов (Бранке Дж., Ватулин Э.И., Герати Дж., Гунч М., Дориго М., Дунаев С.В., Канцедаль С.А., Кажаров А.А., Канцедаль С.А., Костикова М.В., Костюк Ю.Л., Кремер О. Б., Курейчик В.М., Левицкая Л.В., Миддендорф М., Нильссон К., Оуян Дж., Подвальный С.Л., Подшивалов С.Ф., Подшивалова К.С., Разали Н., Семенов С.С., Титов В.С., Угур А., Чмырь Д.А., Шмек Х., Ян Г.Р. и др.)

В области исследования надежности и эффективности производств, в том числе с использованием различных архитектур автоматизированных систем управления машиностроительным производством, можно отметить следующих авторов: Азаров В.Н., Васильев В.А., Омельченко И.Н., Васин С.А., Козловский В.Н., Копейкин А.И., Малафеев С.И., Нечаев Д.Ю., Позднеев Б.М., Северцев Н.А., Труханов В.М., Червяков Л.М., Черкесов Г.Н., Шубинский И.Б.

**Объектом исследования** являются системы управления производством продукции машиностроения.

**Предметом исследования** являются алгоритмы и методы организации и оптимизации систем управления для решения многопараметрических задач производства.

**Целью научного исследования** является разработка методологии организации систем управления машиностроительным производством.

Для реализации данной цели в работе необходимо решить следующие **задачи**:

- исследовать влияние на повышение качества продукции моделей систем управления машиностроительным производством;
- исследовать и обосновать применение метода оценки уровня цифровой зрелости машиностроительного производства с учетом взаимосвязей между моделью жизненного цикла и уровнем цифровизации и автоматизации процессов предприятия;
- выявить универсальные критерии и методы, объединяющие функционально-технологические, производственные параметры и эргатические подходы;
- разработать и обосновать критерии качества систем управления производством и методы их оценки с использованием точных и эвристических алгоритмов, нечеткой логики для решения многопараметрических задач производства;
- разработать методологию организации систем управления производством продукции машиностроения с использованием оптимизированной архитектуры;
- провести апробацию и внедрение результатов работы.

**Методы исследования.** Использовались методы проектирования с применением унифицированных языков моделирования (UML - Unified Modeling Language) и

объектно-ориентированного подхода, математические методы нечеткой логики, методы многокритериальной оптимизации для решения NP-полных задач эвристическими методами программирования, математические методы нормализации данных, методы свертки, корреляционного анализа.

**Достоверность научных результатов** обеспечивается верификацией математических и информационных моделей с применением системного подхода к проектированию с использованием объектно-ориентированных языков программирования, унифицированных языков моделирования, подтверждаемыми результатами натурных испытаний над системами управления производством, информационно-аналитическими системами, установленных в рамках программно-аппаратных комплексов (серверное, сетевое, компьютерное оборудование, измерительная аппаратура) и экспериментов в среде MATLAB с использованием пакета Fuzzy Logic Toolbox и Simulink, разработанной аналитической платформы, а также валидацией на основе эмпирических данных.

**Научная новизна** диссертационной работы состоит в следующем:

1. Разработана методология обеспечения качества продукции и эффективности управления машиностроительным производством на основе организации оптимальной архитектуры автоматизированной системы управления, реализующая комплексную оценку функциональных, технологических и эргономических параметров на внешнем, концептуальном и внутреннем уровнях.

2. Предложена и формализована процедура оценки цифровой зрелости машиностроительного производства на основе модели автоматической оценки уровня информатизации процессов, позволяющая объективно диагностировать текущее состояние информационных активов и выявлять направления их развития для повышения качества и надежности управления производством.

3. Разработана комплексная система оценки эффективности взаимодействия человека с автоматизированной системой управления машиностроительным производством на основе эргатического подхода, нечеткой логики и методов комбинаторной оптимизации, включающая группы критериев, связанных с когнитивными факторами, которые позволяют количественно оценить их влияние на показатели качества и надежности систем.

4. Обоснованы и формализованы критерии и алгоритмы оптимизации параметров архитектуры автоматизированных систем управления машиностроительным производством с использованием методов свертки критериев, анализа иерархий и оптимизации по Парето, обеспечивающие сокращение времени взаимодействия человека с элементами системы управления и снижение количества ошибок при принятии решений в условиях определенности, неопределенности и риска.

5. Разработаны математические модели и автоматизированная платформа для анализа данных о системе управления производством на различных этапах жизненного цикла продукции, реализующие инвентаризацию информационных активов, мониторинг и оценку влияния их использования на качество управления, а также поддержку принятия согласованных и обоснованных решений по выбору оптимальных вариантов использования информационных активов.

6. Получены новые научные знания о закономерностях формирования показателей качества и надежности систем управления машиностроительным производством при организации оптимальной архитектуры автоматизированных систем, учитывающей влияние функциональных, технологических и эргономических параметров, а также возмущающих воздействий на различных уровнях архитектуры.

**Теоретическая значимость работы** заключается в разработке моделей и методов оценки и анализа архитектуры автоматизированных систем управления производством на внешнем, концептуальном и внутреннем уровнях с точки зрения качества, разработке теоретического подхода и обоснования использования аналитических параметров для повышения эффективности управления предприятием.

**Практическая значимость работы** заключается в развитии методов, обеспечивающих повышение эффективности управления предприятием за счет возможности объективно оценить текущий уровень цифровой зрелости машиностроительного производства, выявить направления развития информационных активов и повысить их качество и надежность.

Применение разработанных методов оценки архитектуры автоматизированных систем управления машиностроительным производством для адаптивной организации процессов позволяет повысить производительность за счет интерактивного анализа данных о работоспособности системы.

Использование предложенных моделей оптимизации параметров архитектуры автоматизированных систем сокращает время взаимодействия человека с различными элементами системы управления производством и снижает количество ошибок.

Предложенная модель автоматизированной платформы для анализа данных с использованием методов свертки критериев и анализа иерархий позволяет принимать согласованные и обоснованные решения по выбору оптимальных вариантов использования информационных активов.

Разработана и реализована автоматизированная платформа, необходимая для эффективного управления жизненным циклом продукции, позволяющая в режиме реального времени анализировать изменения значений параметров архитектуры и принимать соответствующие управленческие решения.

#### **Реализация и внедрение результатов работы.**

Основные результаты работы использованы при выполнении проектов по развитию, оптимизации систем управления производствами и модернизации и развития существующих информационных активов промышленных предприятий в ПАО «Газпром Автоматизация» (г. Саратов), АО «Орбита» (г. Воронеж), ООО «Генон» (г. Москва), в том числе:

- системы оценки цифровой готовности машиностроительного производства к трансформации с использованием разработанной модели автоматической оценки уровня информатизации процессов;
- системы автоматической инвентаризации информационных активов, мониторинга и оценки влияния их использования на качество управления производством;
- системы сбора, хранения, консолидации и наглядной визуализации статистических данных для анализа, планирования или моделирования архитектур автоматизированных систем при управлении машиностроительным производством на различных этапах жизненного цикла;
- модуля поддержки принятия решений в условиях определенности, неопределенности и риска для оптимизации архитектуры автоматизированных систем управления машиностроительным производством;
- системы визуализации данных о состоянии и функционировании архитектур систем управления машиностроительным производством.

### **Разработано и реализовано:**

- разработана оценка групп критериев, связанных с когнитивными факторами пользователя при взаимодействии с системой управления машиностроительным производством, методами исследований эргатических функций;
- алгоритмы нечеткого логического вывода с использованием методов комбинаторной оптимизации по Парето для управления качеством автоматизированной системы управления машиностроительным производством;
- автоматизированная система управления машиностроительным производством для комплексной оценки качества алгоритмов, систем и архитектур предприятий и организаций;
- автоматизированная платформа для анализа данных о системе при поддержке принятия управленческих решений на различных этапах жизненного цикла, позволяющая решать задачи инвентаризации информационных активов, изучения динамику надежности системы управления машиностроительным производством.

Результаты исследований по моделям оценки архитектур автоматизированных систем управления машиностроительным производством, используемых при анализе цифровой готовности предприятий и определении качества систем, реализованы на предприятиях и в организациях. Научно-методические разработки, созданные автором, используются в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению 27.03.05 Инноватика, 27.04.07 Наукоемкие технологии и экономика инноваций, 27.04.06 Организация и управление наукоемкими производствами. Внедрение результатов исследования подтверждено соответствующими документами.

### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Теоретическое обоснование необходимости разработки методологии организации систем управления машиностроительным производством с помощью оптимальных архитектур автоматизированных систем с учетом особенностей человеко-машинного взаимодействия.
2. Научно обоснованный подход к оценке цифровой зрелости предприятий машиностроения с учетом этапов жизненного цикла и уровня автоматизации процессов для анализа текущей ситуации и определения оптимального пути развития по цифровизации производств.
3. Описание групп критериев автоматизированных систем управления машиностроительным производством, отвечающих за функционально-технологические и эргономические аспекты, а также методов их оценки, основанные на исследовании эргатических функций, автоматическом сборе и анализе данных о динамике изменения состояния системы.
4. Модели и методы применения точных и эвристических алгоритмов, нечеткой логики для оценки качества и надежности архитектуры автоматизированной системы как системы управления машиностроительным производством и оптимизации ее конфигурации.
5. Модель представления системы на внешнем, концептуальном и внутреннем уровнях для оценки качества архитектуры автоматизированной системы предприятий машиностроения, для сбора информации, проведения оценок при определении весовых коэффициентов свертки критериев.
6. Методы определения значений критериев с использованием нечеткой логики и применения методов оптимизации для выявления оптимальной компоновки элементов системы управления машиностроительным производством на концептуальном уровне представления данных.

7. Интерактивный анализ системы поддержки и принятия управленческих решений в виде платформы, как комплексного решения для управления данными о состоянии автоматизированной системы.

#### **Соответствие паспорту специальности.**

Диссертация соответствует пунктам паспорта специальности 2.5.22:

1. Методы анализа, синтеза и оптимизации, математические и информационные модели состояния и динамики процессов управления качеством и организации производства;

6. Методы стандартизации и управления качеством в CALS-технологиях, автоматизированных, цифровых производственных системах;

13. Научные основы цифровых, автоматизированных комплексных систем управления производством и качеством работ на базе технических регламентов и стандартов;

21. Развитие теоретических основ и практических приложений организационно-технологической надежности производственных процессов. Оценка уровня надежности, адаптивности и устойчивости производства.

#### **Апробация работы.**

Основные результаты исследований были доложены на российских и международных научно-практических конференциях различного уровня, в том числе: International Conference on Integrated Intelligence and Cognitive Engineering (Москва, 2026 г.); 9th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE) (Москва, 2025 г.); VII Межвузовской конференции аспирантов, соискателей и молодых ученых «Наука, технологии и бизнес» (Москва, 2025 г.); III Международной научно-практической конференции «Инновационный вектор развития современной науки» (Петрозаводск, 2024 г.); II Международной научно-практической конференции «Research Forum – 2024» (Петрозаводск, 2024 г.); 7th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE) (Москва, 2023 г.); V Международной научно-технической конференции «Устойчивое развитие и новая индустриализация: наука, экономика, образование» (Москва, 2021 г.); Третьей Международной научно-технической конференции «Управление научно-техническими проектами» (Москва, 2019 г.).

Апробация результатов диссертации проводилась на заседаниях НТС в ведущих и профильных по научной специальности учреждениях и организациях: ФГАОУ ВО Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, (Самара, 2026 г.), ФГАОУ ВО МГТУ им. Н.Э Баумана (Москва, 2025 г.), АО «Орбита» (Воронеж, 2026 г.).

Исследования проводились в рамках работы по Соглашению о предоставлении из федерального бюджета гранта на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития № 075-15-2024-527 от «23» апреля 2024 г.

Часть результатов диссертационного исследования получена при реализации проекта получившего финансирование из средств Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FSN-2023-0029).

#### **Публикации**

Основное содержание диссертации отражено в 68 публикациях, из них 15 в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий по специальности 2.5.22 «Управление качеством. Стандартизация. Организация производства»,

8 статей в журналах, индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science, 2 монографии, 2 патента на изобретение, 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, 1 свидетельство о регистрации базы данных, 53 публикации в других изданиях.

**Личный вклад автора** заключается в обобщении результатов исследований широкого круга авторов по различным направлениям в предметной области, в результате которого обоснованы актуальность темы, цель и задачи, решение которых обеспечивает ее достижение. Также автором получены новые научные результаты, вынесенные на защиту, обеспечено личным участием достижение основных научно-практических результатов внедрения разработок, выраженных в выводах и рекомендациях.

Автором разработаны модели, методы и средства, позволяющие оценивать и проводить анализ качества и надежности архитектур систем управления машиностроительным производством предприятия для повышения эффективности управления, в том числе научно-методические материалы и практические приложения, реализованные в промышленности, которые используются научными организациями и в учебном процессе.

Все научные результаты, изложенные в данной работе, являются личным вкладом автора. Теоретические выкладки и экспериментальные данные получены при непосредственном участии диссертанта. При заимствовании материалов из работ других исследователей в тексте приведены соответствующие ссылки на источники.

#### **Структура и объем диссертации.**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и заключения. Содержание диссертации изложено на 387 страницах машинописного текста, содержит 19 таблиц и 85 рисунков. Список литературы включает 310 наименований.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее цель и задачи, перечислены модели и методы исследований, обозначены научная новизна и практическая ценность, приведены сведения о построении и структуре диссертационного исследования.

**В Главе 1** «Анализ влияния моделей систем управления машиностроительным производством на качество продукции» проведен анализ взаимосвязи параметров объединенного множества компонентов конфигурации, связанных с конструктивными, технологическими, функциональными и пр. ЭСИ с комплексом параметров оценки модели архитектуры автоматизированных систем на внешнем, концептуальном и внутреннем уровне на различных этапах жизненного цикла. Предложена и обоснована необходимость разработки моделей и методов оценки их качества и организации оптимальной архитектуры.

Показано, что одной из ключевых задач управления современным машиностроительным предприятием является обеспечение устойчивости к внешним и внутренним воздействиям детерминированного и стохастического характера. Система управления рассматривается как автоматизированная система, включающая входные данные о цели управления, устройство обработки информации, исполнительные средства, объект управления и контур обратной связи. На основе сравнения требуемых и текущих значений показателей формируется вектор ошибки, который преобразуется в управляющее воздействие при учете возмущающих факторов. Управление трактуется как нелинейный динамический процесс, описываемый оператором эволюции, а анализ временных рядов дополняется методами аналитического выравнивания и формирования требуемой траектории развития.

Как известно, качество системы управления определяется как соотношение свойств реализуемого процесса управления и затрат на их достижение. В качестве базовой количественной характеристики используется ошибка управления, при этом для практической оценки применяются четыре группы критериев: точности, запаса устойчивости, быстродействия и интегральные критерии. Рассматриваются показатели переходных и установившихся режимов, а также возможность повышения качества управления за счет введения интегрирующих и дифференцирующих звеньев и расширенной обработки информации о состоянии предприятия и внешних возмущениях.

Далее исследуется взаимосвязь ЭСИ и систем управления производством. Показано, что современная машиностроительная продукция характеризуется высоким уровнем качества и надежности, широким спектром конфигураций и компонентным (модульным) построением на основе стандартизованных компонентов. В условиях персонифицированного спроса число конфигураций одного типа изделий может исчисляться тысячами, что существенно усложняет задачи управления конфигурацией. Управление конфигурацией трактуется как непрерывное сопровождение изменений относительно базовой версии изделия на протяжении всего жизненного цикла.

Обосновано, что конфигурационный менеджмент должен опираться на ЭСИ как многоуровневые информационные модели состава и структуры изделий, реализуемые в соответствии с требованиями ГОСТ 2.051–2.054 и ГОСТ Р ИСО 10303. ЭСИ рассматривается как конструкторский документ, интегрирующий сведения о составе, связях, вариантах исполнения и модификациях изделия и обеспечивающий сквозной информационный обмен между PDM-, ERP-, ILS- и другими системами. Машинно-ориентированное представление данных на базе стандартов семейства STEP позволяет формировать коллективные базы данных об изделиях и интегрировать автоматизированные системы управления жизненным циклом на внешнем (пользовательском), концептуальном (модели, алгоритмы) и внутреннем (структуры данных) уровнях.

Отдельный раздел посвящен влиянию архитектур цифрового производства и Индустрии 4.0 на системы управления машиностроительным предприятием. Рассмотрены эталонные архитектуры RAMI 4.0, IIRA и традиционные корпоративные архитектуры PERA, CIMOSA, GERAM. Показано, что международные референсные модели обеспечивают описания жизненного цикла, ролей и представлений систем промышленного интернета вещей, но их внедрение на российских предприятиях осложняется сохранением устаревших архитектур и отсутствием единой национальной модели цифрового производства. Отмечено, что применение холонических и мультиагентных архитектур (PROSA, HMS) позволяет повысить гибкость и точность управления за счет децентрализации и использования автономных агентов, однако требует адаптации к отечественным условиям.

Далее сформирована номенклатура групп показателей качества продукции в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9000-2015: показатели назначения, надежности, эргономичности, эстетики, технологичности, транспортабельности, стандартизации и унификации, патентно-правовые, экологические, безопасности и экономические показатели. Отмечено, что особенно значимыми для машиностроения являются показатели технологичности (трудоемкость, материалоемкость, производственный цикл, коэффициенты использования материалов, унификации и преемственности), которые непосредственно связывают качество изделия с возможностями конкретного предприятия.

Для формализации выбора конкретной номенклатуры показателей качества продукции и конфигураций систем управления предложено использовать теорию нечетких

множеств. Совокупность показателей представляется в виде нечеткого множества параметров, разложенного на подмножества по группам свойств с заданными функциями принадлежности. Это позволяет для каждой конфигурации изделия и информационной системы формировать свой профиль качества, учитываемый при сравнении альтернатив (рисунок 1).

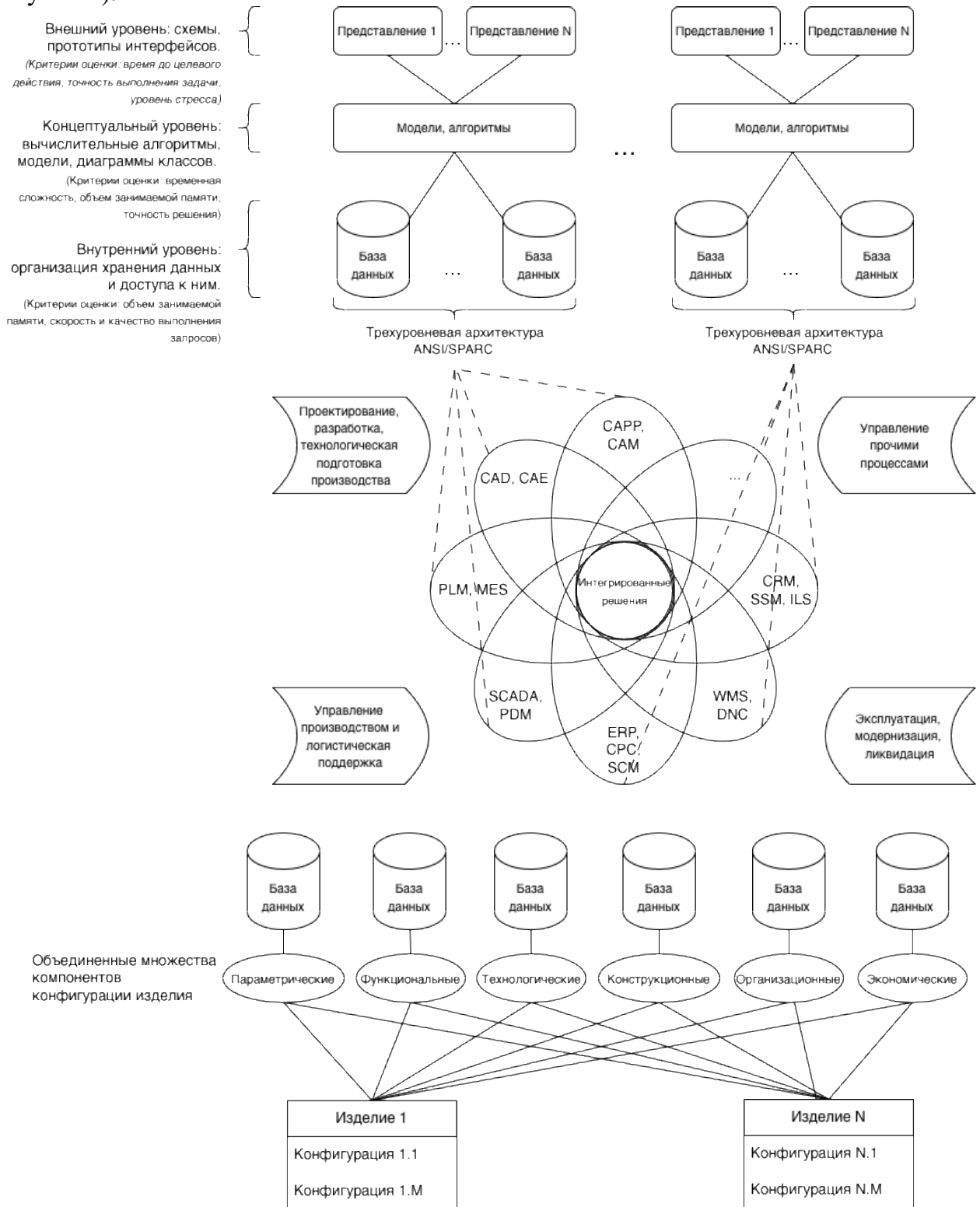


Рисунок 1 – Взаимосвязь объединенного множества параметров ЭСИ при управлении жизненным циклом и архитектурой СУ машиностроительным производством

Построение архитектуры системы управления машиностроительных предприятий должно базироваться на моделях систем управления и интеграции с электронными структурами изделий; оценка качества систем управления требует использования совокупности динамических критериев (точность, устойчивость, быстродействие, интегральные показатели) и структурно-информационных параметров, связанных с ЭСИ и конфигурацией информационных систем; выявленные ограничения существующих архитектур и фрагментарность цифровизации в РФ обуславливают необходимость разработки национальной модели цифрового производства. Для обеспечения качества управления и сбалансированной функциональности производства необходимо разработать методологию оценки и анализа показателей источника информации о задаче и результатах управления. Для выбора оптимальной архитектуры СУ и выработке решения необходимо разработать алгоритмы оптимизации, подпрограммы и архитектуру системы поддержки принятия решений (СППР).

**Во второй главе** диссертации рассматриваются подходы к оценке производственных систем управления машиностроительными предприятиями в условиях цифровой трансформации, предлагается использовать автоматизированную оценку уровня цифровой зрелости с учетом жизненного цикла продукции и иерархии процессов, проводится анализ комплекса критериев оценки систем управления и разрабатывается модель интегральной оценки на основе методов нечеткой логики.

Показано, что цифровая трансформация предприятия трактуется как стратегический процесс перехода к моделям Индустрии 4.0, а цифровая зрелость – как способность предприятия систематически адаптировать и использовать современные цифровые технологии. Обзор существующих моделей оценки показывает, что основным инструментом выступает анкетирование по ряду направлений деятельности с последующей градацией по уровням зрелости и выдачей рекомендаций. Отмечены исследования, предлагающие онтологические модели цифровой зрелости, позволяющие сопоставлять различные методики и выявлять наиболее полно охватывающие элементы цифровой трансформации. В российской практике выделена модель ODM3 Московской школы управления «Сколково» и «Цифровой паспорт промышленного предприятия» Минпромторга, обеспечивающие сбор структурированных данных о предприятиях и возможность отраслевого бенчмаркинга.

На основе анализа существующих подходов сформулированы требования к автоматизированному методу оценки цифровой зрелости машиностроительного предприятия с учетом жизненного цикла продукции и иерархии процессов. Предлагается рассматривать систему оценки как многокритериальную задачу, где для каждой конфигурации системы управления определяется вектор критериев:

$$\begin{aligned} f(x) \\ = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)), \end{aligned} \tag{1}$$

а сама задача формулируется в виде:

$$\min_{x \in S} f(x),$$

где  $x$  – конфигурация системы,

$S$  – множество допустимых конфигураций,

$f_i(x)$  – частные критерии (точность, быстродействие, стоимость, надежность, уровень цифровизации процессов и др.).

Решения оцениваются на Парето-оптимальность: конфигурация  $x^* \in S$  считается Парето-оптимальной, если не существует конфигурации  $x \in S$ , такой что

$$f_i(x) \leq f_i(x^*) \quad \forall i, \exists j: f_j(x) < f_j(x^*). \quad (2)$$

Это позволяет сформировать множество недоминируемых альтернатив, из которых лицо, принимающее решения, выбирает предпочтительную конфигурацию системы управления.

Отдельно исследуется взаимосвязь параметров систем управления и объединенного множества параметров ЭСИ. Конструктивные ЭСИ представляются в виде иерархических графов, где конфигурация изделия и единичного экземпляра продукции соответствует отдельной ветви. При построении технологической ЭСИ ключевым элементом становится ребро графа, отражающее переходы, сборочные комплекты, используемое оборудование, оснастку и режимы. Для изделия формируются объединенные множества параметров технологического процесса. Их описание реализуется средствами реляционных баз данных, что позволяет при проектировании новой конфигурации автоматически сопоставлять каждому переходу набор технологических и организационных параметров и использовать их в задачах оптимизации.

Также в главе проведен анализ комплекса критериев для оценки систем управления машиностроительным производством. В качестве базовой рамки используется модель CISE (Criteria for Information Systems Evaluation), включающая 84 критерия, сгруппированных в 17 тематических категорий и 5 классов: организационные, пользовательские, качественные, технологические и системные. Организационные критерии описывают влияние системы на управление, экономику и производительность; пользовательские – коммуникации, адаптивность и эргономику; качественные – доступность, сохраняемость и качество информации; технологические – характеристики аппаратного и программного обеспечения и безопасность; системные – соответствие стандартам и системные свойства (конгруэнтность, соответствие ожиданиям). Подчеркивается, что значительная часть критериев связана с когнитивными и поведенческими аспектами взаимодействия пользователя (удовлетворенность, уровень стресса, удобство интерфейса, обучаемость и др.), для которых отсутствуют унифицированные методики количественной оценки. В качестве перспективного направления предлагается использовать эргатические подходы, позволяющие объективизировать оценку эргономики и удобства использования.

Предложено при разработке модели вычисления интегральных показателей систем управления машиностроительным производством проводить оценку на основе теории нечетких множеств и нечеткого логического вывода. Система управления моделируется как объект с дискретным выходом, для которого требуется получить численную оценку качества на основании набора четких и нечетких критериев. Используется типовая структура нечеткого логического вывода (фаззификатор, база знаний, механизм вывода, дефаззификатор). В качестве алгоритма вывода выбран метод Мамдани, поскольку он оперирует лингвистическими правилами вида:

$$\text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть } A_{1j} \text{ И } \dots \text{ И } x_n \text{ есть } A_{nj}, \text{ ТО } y \text{ есть } B_j, j = 1, \dots, m, \quad (3)$$

где  $x_i$  – входные критерии,

$A_{ij}$  – термы входных переменных,

$B_j$  – термы выходной переменной (например, «низкое», «среднее», «высокое» качество системы).

На каждом шаге рассчитывается степень выполнения  $j$ -го правила:

$$\alpha_j = T(\mu_{A_{1j}}(x_1), \dots, \mu_{A_{nj}}(x_n)), \quad (4)$$

где  $\mu_{A_{ij}}(x_i)$  – функции принадлежности,

$T$  – t-норма (обычно операция минимума).

Импликация реализуется как «срезание» функций принадлежности заключения:

$$\mu_{B'_j}(y) = \min(\alpha_j, \mu_{B_j}(y)), \quad (5)$$

а агрегирование по всем правилам — операцией максимума:

$$\mu_B(y) = \max_{j=1..m} \mu_{B'_j}(y).$$

Итоговое четкое значение оценки качества системы управления определяется методом центра тяжести:

$$y^* = \frac{\int y \mu_B(y) dy}{\int \mu_B(y) dy}. \quad (6)$$

Реализация нечеткой модели осуществляется в среде MATLAB с использованием пакета Fuzzy Logic Toolbox и Simulink. В Fuzzy Logic Toolbox задаются лингвистические переменные, функции принадлежности входных и выходных термов, а также база правил. В Simulink строится модель, в которой четкие значения критериев (в том числе полученные из лингвистических оценок через восстановление функций принадлежности) через блоки Constant и Mux подаются на вход блока Fuzzy Logic Controller, реализующего файл базы знаний; на выходе блока формируется дефазифицированная численная оценка качества системы.

В результате главы 2 формируется концептуальная и методологическая основа для количественной оценки качества систем управления машиностроительным производством. Такой подход объединяет оценку уровня цифровой зрелости предприятия, параметры электронных структур изделий, архитектуру информационных систем и комплекс критериев оценки на основе нечеткой логики, что создает предпосылки для последующего поиска оптимальной конфигурации системы управления и разработке системы поддержки принятия решений на машиностроительных предприятиях.

**В главе 3 «Модель принятия решений при организации систем управления производством»** разработана комплексная модель принятия решений при выборе конфигурации архитектуры системы управления машиностроительным производством. Модель опирается на многоуровневое описание объектов управления, оценку надежности информационной архитектуры, обобщенную структуру СППР, формальные методы нормализации полученных значений и методов свертки критериев.

В главе обосновано, что производственная система имеет иерархическую структуру, состоящую из элементов разных уровней важности. Для формализации используется ориентированный граф типа дерево, в котором уровень  $l$  содержит совокупность элементов:

$$X^{(l)} = \{x_i^{(l,k)}\}, \quad (7)$$

где  $i$  – номер элементарного объекта,

$k$  – номер элементарной иерархии данного уровня.

Выделены четыре базовых уровня: стратегический (политика и цели качества), тактический (процессы стандартизации и планирования), оперативный (контроль и мониторинг) и исполнительный (операции и измерения). Такая декомпозиция согласуется с требованиями ГОСТ Р ИСО 9001 к системе менеджмента качества.

Для каждого элемента задается набор приоритетных характеристик:

$$p_j(x), j = 1, \dots, r, \quad (8)$$

отражающих параметры качества, соответствие нормативам, технологические ограничения и др. Интегральный показатель приоритета определяется как:

$$P(x) = \sum_{j=1}^r w_j p_j(x), \quad (9)$$

где  $w_j$  – весовые коэффициенты, настраиваемые в соответствии с политикой качества и нормативными документами.

Это позволяет ранжировать элементы одного уровня по степени влияния на качество продукции и использовать  $P(x)$  при выборе конфигурации архитектуры системы управления (включение/исключение подсистем, смена приоритетов ресурсов и т.п.).

Далее вводится вероятностно-информационная модель принятия решений о соответствии продукции требованиям стандартов. Пусть  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$  – измеримое пространство исходов, где  $\mathcal{F}$  –  $\sigma$ -алгебра подмножеств,  $P$  – вероятностная мера. Система стандартов делит множество фактов на две подсистемы:

$$F^+ \subset \mathcal{F} \text{ (положительные факты)}, F^- \subset \mathcal{F} \text{ (отрицательные факты)},$$

причем:

$$P(F^+) + P(F^-) = 1. \quad (10)$$

Величины  $P(F^+)$  и  $P(F^-)$  интерпретируются как вероятности положительного и отрицательного решения о соответствии продукции требованиям.

С целью количественной оценки обоснованности решения вводится информационная характеристика (энтропия) подсистем и степень обоснованности  $\gamma$ . В общем виде она определяется как функционал от вероятностного и информационного распределения:

$$\gamma = \Phi(P(F^+), P(F^-), H(F^+), H(F^-)), \quad (11)$$

где  $H(\cdot)$  – энтропийные характеристики подсистем.

Интерпретация  $\gamma$ :

$\gamma > 0$  – решение о соответствии обосновано (преобладают годные факты при низкой неопределенности);

$\gamma = 0$  – зона неопределенности (баланс фактов или высокая энтропия);

$\gamma < 0$  – решение о соответствии необосновано (преобладает брак).

В динамике рассматривается последовательность значений  $\gamma(t_i)$  за интервалы  $t_i$ , на основе которой вводится коэффициент обоснованности:

$$K = \frac{\gamma(t_i)}{\gamma(t_{i-1})}, \quad (12)$$

характеризующий тенденцию изменения качества:

$K > 1$  – тенденция к улучшению качества;

$K \approx 1$  – качество стабильно;

$K < 1$  – тенденция к ухудшению.

Анализ возможных траекторий  $\gamma(t_i)$  позволяет классифицировать процессы на устойчиво положительные, устойчиво отрицательные и знакопеременные (колеблющиеся), что используется при выборе управленческих воздействий.

На основе этих зависимостей построена блок-схема элементарной модели принятия решений (рисунок 2). Блок 1 (модуль разделения фактов) реализует классификацию единиц продукции на годные и дефектные путем сопоставления признаков проверяемой гипотезы и фактов из базы данных. Для каждого факта вычисляется априорная вероятность на основе числа совпадающих и различающихся признаков. Модуль эвристических знаний корректирует эту вероятность с учетом экспертных знаний и нормативных требований. Модули 2, 2° и 3 формируют усредненные мощности массивов

фактов и текущую степень обоснованности  $\gamma(t)$ . Модули 4, 4° и 5 агрегируют показатели за отчетный интервал, вычисляют коэффициент обоснованности  $K$ . Модуль 6 формирует итоговое решение (соответствие, неопределенность, несоответствие).

Модель предназначена для интеграции в систему менеджмента качества и обеспечивает:

- автоматизацию процедур принятия верифицирующих решений;
- непрерывный мониторинг динамики показателей качества;
- формирование статистической отчетности;
- информационную поддержку аудитов.

В параграфе 3.2 развита модель оценки надежности архитектуры системы управления производством. Система рассматривается как совокупность элементов и параметров, являющимися случайными величинами, распределенными по различным законам. Надежность определяется как комплекс свойств (безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость) в соответствии с ГОСТ Р 27.002–2009. Для оценки используются два подхода: вероятностный и статистический.

Для многокомпонентных архитектур используется аппарат теории массового обслуживания и марковских процессов. Система с  $n$  элементами и  $k$ -канальным резервированием описывается системой дифференциальных уравнений Эрланга для вероятностей состояний  $P_k(t)$ . В стационарном режиме ( $t \rightarrow \infty$ ,  $P'_k(t) = 0$ ) получаются классические формулы Эрланга для вероятности отказа и вероятности безотказной работы. Аналогично рассматриваются модели с очередью на восстановление, где часть отказавших элементов ожидает обслуживания, и вводятся дополнительные показатели: среднее число заявок в очереди, вероятность ее образования, среднее количество свободных обслуживающих каналов.

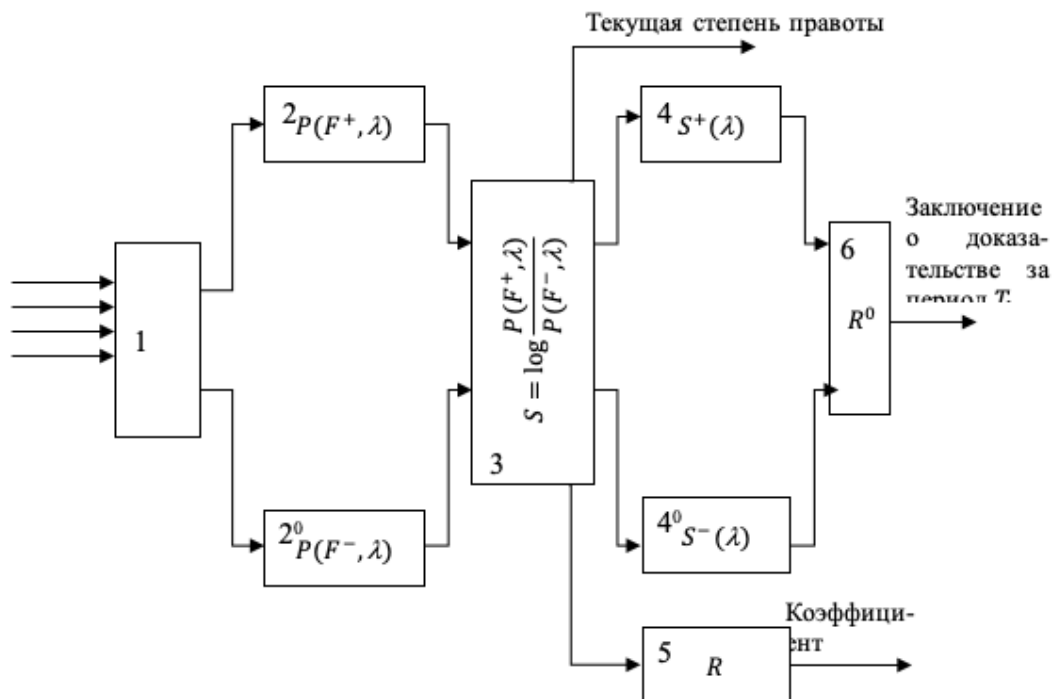


Рисунок 2 – Блок-схема элементарной модели

Важным является учет человеческого фактора. Предлагается рассматривать параметр потока отказов как сумму технической и операторской составляющих:

$$\lambda(S) = \lambda_T + \lambda_H(S), \quad (13)$$

где  $\lambda_T$  – интенсивность технических отказов,

$\lambda_H(S)$  – интенсивность отказов по вине человека, зависящая от уровня стресса оператора  $S$ .

Уровень стресса определяется через измеримые физиологические показатели, например:

$$S = \frac{HR - HR_{\text{rest}}}{HR_{\text{max}} - HR_{\text{rest}}}, \quad (14)$$

где  $HR$  – текущая частота сердечных сокращений,

$HR_{\text{rest}}$  – частота сердечных сокращений (ЧСС) в покое,  $HR_{\text{max}}$  – максимальная ЧСС.

Функция  $\lambda_H(S)$  аппроксимируется по экспериментальным данным как:

$$\lambda_H(S) = \alpha S + \beta, \quad (15)$$

где  $\alpha, \beta$  – эмпирические коэффициенты.

Вероятность безотказной работы с учетом человеческого фактора при постоянном уровне стресса:

$$P_{\text{tot}}(t) = \exp(-(\lambda_T + \lambda_H(S)) t), \quad (16)$$

а при переменном  $S(t)$ :

$$P_{\text{tot}}(t) = \exp\left(-\int_0^t (\lambda_T + \lambda_H(S(\tau))) d\tau\right). \quad (17)$$

Соответствующий модифицированный параметр  $\lambda(S)$  включается в систему уравнений Эрланга, что позволяет оценивать надежность архитектуры СУ с учетом операторских ошибок и обосновывать требования к эргономике интерфейсов.

В рамках исследования разработан метод, позволяющий учитывать три группы рисков: организационно-управленческие, технологические и технические. Каждая группа рисков влияет на параметры модели надежности и на показатели архитектуры СУ. В терминах модели надежности данные риски проявляются как нестационарность параметров  $\lambda(t), \mu(t)$ , увеличение времени ожидания восстановления и рост вероятности формирования очереди на восстановление. Технические риски охватывают отказы станков, роботов, транспортных систем, ограничения пропускной способности участков, сбои в ИТ-инфраструктуре и системах сбора данных. В рамках модели данные риски непосредственно влияют на интенсивность потока отказов  $\lambda$ , вероятность состояния полного отказа и коэффициент готовности  $K_r$ .

Таким образом, все три группы рисков могут быть формализованы как факторы, изменяющие параметры  $\lambda, \mu, w$  (число обслуживаемых элементов) и  $v$  (интенсивность ухода из очереди) в системе уравнений Эрланга и в модели СМО с очередью.

Алгоритм может быть реализован как вычислительный модуль в составе аналитической платформы. В этом случае сценарии рисков формируются на основе данных о производственной системе и ЭСИ.

Интеграция данного метода в СППР позволяет перейти от разовых расчетов надежности к систематической поддержке принятия решений по организации производства в условиях организационно-управленческих, технологических и технических рисков.

Также разработана обобщенная структура СППР для выбора конфигурации архитектуры системы управления производством. СППР предназначена для обработки данных из внешних и внутренних источников, их нормализации, агрегирования и последующей оптимизационной оценки вариантов конфигураций.

В качестве платформы хранилища данных выбрана реляционная система управления базами данных (СУБД) с поддержкой геоданных, обеспечивающая консистентность, вертикальную масштабируемость и отсутствие лицензионных ограничений. Архитектура хранилища реализована на основе трехслойной концепции:

- операционный слой первичных данных, куда с заданной периодичностью выгружают необработанные данные из источников;
- ядро хранилища, где выполняются преобразования, очистка, нормализация и согласование ключей;
- слой аналитических витрин, используемые геоаналитической и оптимизационной моделью.

Все компоненты СППР упакованы в Docker-контейнеры, что упрощает разворачивание и переносимость системы (рисунок 3).

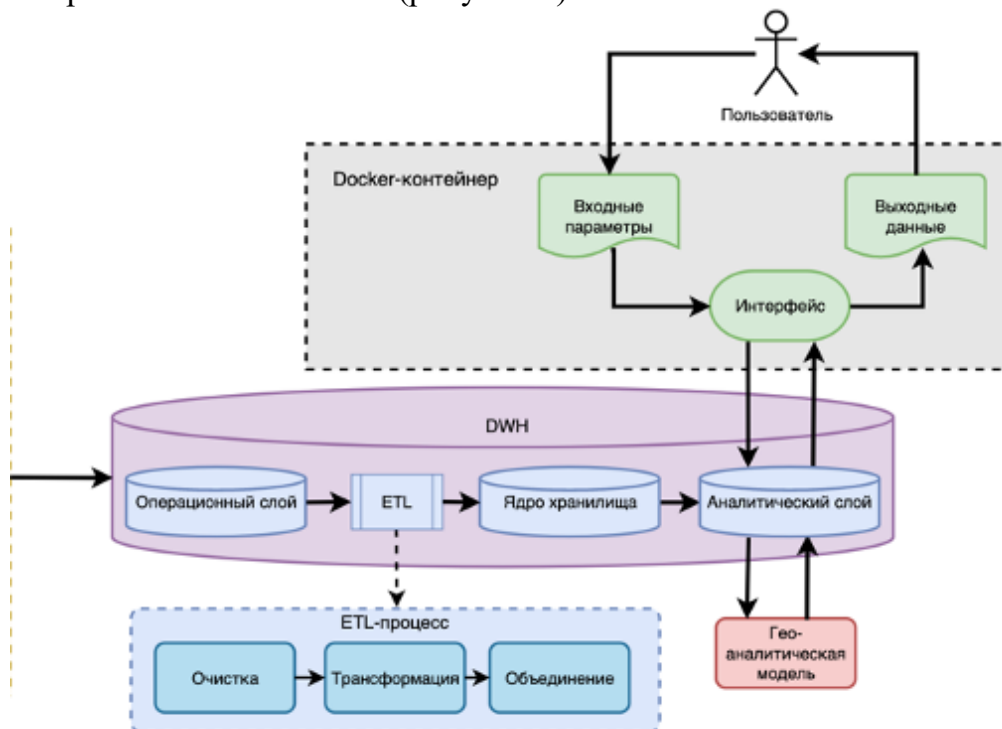


Рисунок 3 – Схема системной архитектуры СППР

Для корректной свертки множества критериев в единую целевую функцию применяется нормализация данных. Рассматриваются методы: mean-нормализация, масштабирование Min–max, Z-нормализация, сигмоидная и робастная сигмоидная нормализация. В работе обоснован выбор Z-нормализации:

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}, \quad (18)$$

где  $\bar{x}$  – среднее значение,

$\sigma$  – стандартное отклонение, что обеспечивает устойчивость к выбросам и интерпретируемость в стандартных отклонениях.

Для определения весовых коэффициентов критериев анализируются экспертные методы (ранжирование, приписывание баллов, метод анализа иерархий) и формальные (коэффициент относительного разброса, метод модифицированной первой главной компоненты). Их общий недостаток – зависимость от экспертов и субъективизм.

В рамках работы выбран модифицированный метод CRITIC (CRITIC-M) как объективный способ определения весов. На первом шаге формируется матрица нормализованных показателей  $X = (x_{ij})$ , где  $i$  – альтернативы,  $j$  – критерии. Для каждого критерия рассчитывается стандартное отклонение  $\sigma_j$  и матрица корреляций  $r_{jk}$ . Информационное содержание критерия определяется как:

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - r_{jk}), \quad (19)$$

а в модификации CRITIC-M дополнительно учитывается среднее значение показателя. Веса критериев вычисляются следующим образом:

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^n C_k}. \quad (20)$$

Это позволяет автоматически формировать веса, повышая значимость критериев, обладающих большим разбросом и низкой корреляцией с другими показателями, без использования экспертных оценок.

В результате разработана элементарная модель принятия решений, опирающаяся на вероятностно-информационные характеристики и интегральный коэффициент обоснованности, позволяющая формировать решения о соответствии продукции требованиям и отслеживать динамику качества. Так же предложена модель оценки надежности архитектуры системы управления, объединяющая классические показатели надежности с учетом модифицированного параметра отказов  $\lambda(S)$ , зависящего от человеческого фактора. Спроектированная обобщенная архитектура СППР обеспечивает сбор, нормализацию и многомерный анализ критериев качества и надежности системы управления машиностроительным производством. Обоснован выбор Z-нормализации и метода CRITIC-M для нормализации и свертки критериев, позволяющий формировать объективные веса и строить интегральный суперкритерий качества и надежности архитектуры СУ.

**В главе 4** «Проверка адекватности модели управления производством продукции» проведена оценка на всех уровнях архитектуры системы управления машиностроительным производством: внешнем, концептуальном и внутреннем. Используются методы поисковой оптимизации, эргатические подходы при измерении критериев человеко-машинного взаимодействия, нечеткая логика, теория надежности и холонический подход.

На основе анализа предметной области сформулированы обобщенные требования к системе управления производством на внешнем уровне. Пользователь СУ должен иметь возможность использовать интерфейс, учитывающий уровень владения компьютерными технологиями и типичные сценарии эксплуатации, а также получать необходимую информацию в нужный момент и в удобном виде. Для формирования требований к системе должны использоваться алгоритмы, которые обеспечивают формализованный анализ текстовой информации, используемой при принятии управленческих решений.

Для оценки применимости метода поиска оптимального решения по Парето (Pareto simulated annealing) проведено исследование трех вариантов интерфейса (А, В, С). Для каждого варианта фиксировались количество элементов и активных элементов, длина маршрута блуждания взгляда пользователя, среднее значение ЧСС и время до целевого действия. Установлено, что интерфейс с меньшим числом элементов и более логичной структурой (вариант В) обеспечивает уменьшение длины маршрута взгляда и времени до целевого действия.

На концептуальном уровне архитектуры элементарной частью СУ является алгоритм. От качества алгоритма зависит качество самой системы. Алгоритм, как часть любой автоматизированной системы, имеет сложность  $O(f(n))$ , при увеличении размерности входных данных  $n$  время выполнения алгоритма возрастает с той же скоростью, что и функция  $f(n)$ .

По результатам проведенного исследования каждый из выбранных для рассмотрения алгоритмов имеет свои достоинства и недостатки, поэтому могут быть применимы при различных условиях и ограничениях. Метод ветвей и границ, который близок к простому перебору, имеет ограничения по количеству точек маршруту, а именно не более 10, из-за экспоненциально возрастающего времени вычисления. Однако маршрут, вычисляемый в пределах 10 точек наиболее близок к эталонному, при сравнительно небольших затратах вычислительных ресурсов. Эвристические методы, представленные муравьиным и генетическим алгоритмом, показывают хорошие результаты при большем наборе точек. При этом генетический алгоритм (ГА) менее ресурсоемкий, а муравьиный алгоритм (МА) более точен. Исходя из полученных результатов, комбинация этих методов при решении практических задач будет наиболее предпочтительна (рисунок 4).

Метод динамического программирования в связи с экспоненциальным ростом времени вычислений применим для малых выборок точек. Метод демонстрирует оптимальный маршрут с высокой скоростью и малыми затратами объемов памяти. Эвристические алгоритмы целесообразно применять для больших выборок, что обусловлено их быстродействием при большом количестве пунктов назначения. Впрочем, алгоритм имитации отжига в сравнении с методом ближайшего соседа представляется менее предпочтительным вариантом в силу более высоких временных и вычислительных затрат. Примечательно, что метод ближайшего соседа (МБС) демонстрирует хороший результат не только на больших выборках, но и на малых, что делает его предпочтительным вариантом на всем интервале точек 3-26 в сравнении с его «оппонентами».

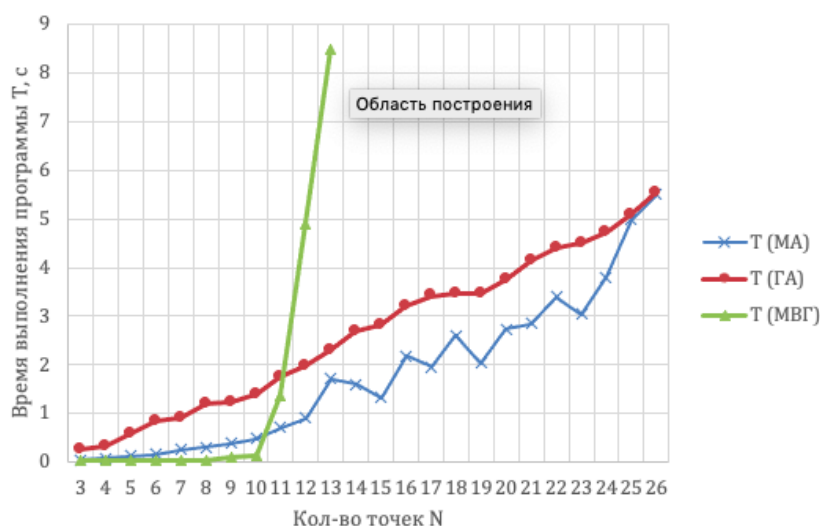


Рисунок 4 – Временная сложность алгоритмов в зависимости от количества точек  $N$

При организации системы управления на внутреннем уровне критериями оптимизации является объем занимаемой памяти, время выполнения запроса, и точность ответа. При этом время выполнения запросов представляет собой одну из ключевых метрик производительности систем. Для повышения качества систем управления на

внутреннем уровне необходимо определить критерии, оптимизация которых будет считаться ожидаемым результатом, через целевую функцию вида:

$$F(x) = x_1 k_1 + x_2 k_2 + x_3 k_3 + \dots + x_5 k_5 \rightarrow \min, \quad (21)$$

где  $x_1$  – фактическая длина запроса,

$x_2$  – количество отфильтрованных в результате запроса строк,

$x_3$  – объем памяти, прочитанный запросом из оперативной памяти,

$x_4$  – объем памяти, прочитанный запросом с диска,

$x_5$  – время выполнения запроса,

$k_1 \dots k_5$  – весовые коэффициенты, значение которых определяется через корреляцию интеркритериев.

В данном случае целевая функция и ограничение задают одну и ту же гиперплоскость  $F(x) = 0$  (поскольку есть ограничение, что  $F(x) > 0$ , минимальное значение не может быть равно 0, но оно к нему стремится). На этой гиперплоскости лежит бесконечное число точек, удовлетворяющих уравнению  $F(x) = 0$ . Каждая переменная  $x_i$  должна лежать в интервале  $(0,1)$ . Это означает, что мы рассматриваем только те точки на гиперплоскости  $F(x) = 0$  (к которым стремятся наши решения), которые также лежат внутри пятимерного гиперкуба  $(0,1) \times (0,1) \times (0,1) \times (0,1) \times (0,1)$ .

В данной задаче:

- Ограничения  $0 < x_i < 1$  – это строгие неравенства.
- Ограничение  $F(x) > 0$  – также строгое неравенство.

Используя метод внутренней точки, который работает внутри допустимой области, необходимо задать барьерную функцию, когда переменная приближается к границе допустимой области. Для ограничений вида  $g(x) > 0$  барьерная функция обычно имеет вид:

$$B(x) = -\ln(g(x)). \quad (22)$$

Если  $g(x) \rightarrow 0$  (переменная приближается к границе), то  $B(x) \rightarrow +\infty$ .

Если  $g(x)$  далеко от границы, то  $B(x)$  принимает конечные значения.

Для всех переменных  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  общая барьерная функция будет:

$$B_1(x) = -\sum_{i=1}^5 (\ln(x_i) + \ln(1 - x_i)). \quad (23)$$

Также необходима барьерная функция  $B_2$  для  $F(x) > 0$ :

$$B_2(x) = -\ln(F(x)). \quad (24)$$

Добавим барьерные функции к целевой функции с параметрами  $\mu_1 > 0$  и  $\mu_2 > 0$ :

$$\Phi(x, \mu_1, \mu_2) = F(x) + \mu_1 B_1(x) + \mu_2 B_2(x), \quad (25)$$

где  $\mu_1$  и  $\mu_2$  – параметры барьера, которые уменьшаются на каждой итерации.

Далее начинается итерационный процесс, который будет продолжаться до тех пор, пока коэффициент  $\mu$  не станет достаточно малым (например,  $\mu < 10^{-6}$ ). Это означает, что барьерная функция почти не влияет на решение, и мы близки к оптимальной точке.

Для интегральной оценки критериев архитектуры СУ использована теория нечетких множеств и нечеткий логический вывод (НЛВ). Объектом моделирования является система управления машиностроительным производством.

Обработка критериев осуществляется по каскадной схеме НЛВ, включающей три уровня композиции:

- первый уровень: пять блоков НЛВ формируют показатели «Организационная система», «Индивидуальные качества системы», «Обращение информации», «Технологичность» и «Системность» на основе первичных критериев (предрасположенность к отказам, гибкость управления, уровень стресса, удовлетворенность, предрасположенность к ошибкам, доступность и точность информации, производительность, фильтры, эффективность, целесообразность);
- второй уровень: два блока НЛВ агрегируют эти показатели в «Сервисзначимые параметры» и «Технические параметры»;
- третий уровень: один блок НЛВ формирует комплексную оценку СУ.

Визуализация поверхности «входы» - «выход», соответствующая синтезированной нечеткой системе представлена на рисунке 5, 6.

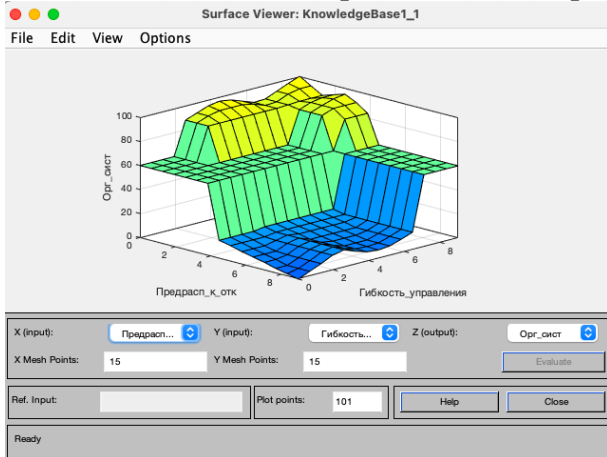


Рисунок 5 – Визуализация поверхности «Предрасположенность к отказам», «Гибкость управления» - «Организационная система»

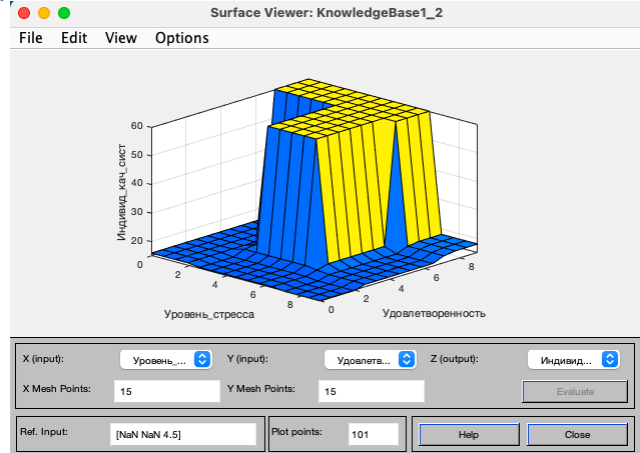


Рисунок 6 – Визуализация поверхности «Уровень стресса пользователей», «Удовлетворенность пользователей» - «Индивидуальные качества системы»

Входные данные – результаты опроса 60 пользователей по 11 критериям, представленные в виде матрицы  $60 \times 11$ . Часть критериев представлена четкими значениями, часть – лингвистическими оценками («низкий», «средний», «высокий» и т.п.). Для нечетких критериев заданы функции принадлежности; НЛВ реализован по алгоритму Мамдани.

Результаты показали, что комплексная оценка СУ составила 89 баллов из 100, что соответствует оценке «очень хорошая» с уверенностью 88%. Модель НЛВ позволяет разработчикам выявлять слабые места архитектуры СУ и формировать ориентированные рекомендации по ее совершенствованию.

Для решения задачи оптимизации архитектуры СУ предложен метод комбинаторной оптимизации Pareto simulated annealing. Задача формулируется как многокритериальная. Для внешнего представления системы необходимо из множества конфигураций расположения компонентов выбрать такие, при которых:

- длина маршрута блуждания взгляда  $\ell$  минимальна;
- ЧСС остается в пределах нормы;
- время до целевого действия  $t$  минимально.

Для каждой конфигурации интерфейса  $x$  формируется вектор критериев:

$$f(x) = (f_1(x), f_2(x), f_3(x)), \quad (26)$$

где  $f_1(x)$  – длина маршрута,

$f_2(x)$  – функция отклонения ЧСС от нормального диапазона,

$f_3(x)$  – время до целевого действия.

После нормализации критериев целевая функция задается в виде:

$$F(x) = w_1 f_1^H(x) + w_2 f_2^H(x) + w_3 f_3^H(x), \quad (27)$$

где  $w_i$  — весовые коэффициенты, отражающие приоритеты оптимизации.

Алгоритм итеративно генерирует новые конфигурации  $x_n$ , сравнивает их с текущим решением  $x_{n-1}$  и множеством недоминируемых решений  $M$ . Если  $x_n$  доминирует  $x_{n-1}$  по критериям, то оно добавляется в  $M$ , доминируемые решения удаляются. Если  $x_n$  хуже, чем  $x_{n-1}$ , оно может быть принято с вероятностью:

$$P(x_n, x_{n-1}, T) = \exp\left(-\frac{F(x_n) - F(x_{n-1})}{T}\right), \quad (28)$$

что позволяет избежать локальных минимумов.

Таким образом, метод комбинаторной оптимизации по Парето позволяет оптимизировать систему управления производством по нескольким критериям одновременно.

В работе рассматривается построение архитектуры системы управления производством на основе автономных элементов в рамках холонического подхода. Система включает следующие основные компоненты:

- холон заказов – отвечает за планирование заказов;
- ресурсный холон – управляет ресурсами;
- продуктовый холон – содержит информацию о продуктах и технологиях;
- холон цеха – непосредственно осуществляет производство;
- холоническая производственная система (HMS) – координирует взаимодействие холонов;
- хранилище данных (DWH) – обеспечивает информационную поддержку и аналитику.

Схема взаимодействия элементов представлена на рисунке 7: потребитель формирует заказ, HMS, взаимодействуя с продуктовыми и ресурсными холонами, проверяет возможность его исполнения, разрабатывает план производства и распределения ресурсов, передает задания в холон цеха и информирует потребителя через механизм обмена с DWH.

Особенности архитектуры:

- единичность продуктового холона для холона заказов (исключение неоднозначностей и очередей);
- возможность наличия нескольких ресурсных холонов и холонов цехов;
- самоподобие иерархической структуры, позволяющее легко интегрировать новые компоненты и масштабировать систему.

Для оценки надежности архитектуры рассматривается система из нескольких модулей с плотностью потока отказов  $\lambda$  и восстановлений  $\mu$ . В стационарном режиме вероятности состояний системы (работоспособность всех, частичная или полная работоспособность) вычисляются по уравнениям Эрланга; вероятность того, что хотя бы один модуль работоспособен, определяется как  $1 - P_{\text{полного отказа}}$ . При отсутствии восстановления используется экспоненциальный закон отказов и приближения по законам Пуассона и Бернулли; показано, что схема Бернулли дает более корректное поведение вероятности безотказной работы при больших  $\lambda t$ .

С учетом человеческого фактора параметр потока отказов модифицируется как  $\lambda(S) = \lambda_T + \lambda_H(S)$ , где  $\lambda_T$  – технические отказы,  $\lambda_H(S)$  – отказы по вине оператора, зависящие от уровня стресса  $S$  (определяемого по ЧСС). На основании экспериментальных данных показано, что оптимизация интерфейса (снижение длины маршрута

взгляда, времени до действия и ЧСС) приводит к уменьшению  $\lambda_H(S)$  и снижению вероятности отказа системы примерно на 45%.

На основании проведенного анализа разработан механизм гибридного подхода к выбору конфигурации СУ, объединяющий нечеткую логику и многокритериальную оптимизацию по Парето. Система представляется как совокупность автономных элементов-холонов. Каждый холон  $h_i$  оценивается на трех уровнях архитектуры:

- внешний уровень – через семантический анализ требований и эргономику интерфейса (ЧСС, траектория взгляда, время до действия);
- концептуальный уровень – через качество алгоритмов (время работы, длина маршрута, объем памяти, эффективность);
- внутренний уровень – через производительность, гибкость управления, доступность и точность информации.

Часть параметров – четкие (время, память, вероятность безотказной работы), часть – нечеткие (уровень стресса, удовлетворенность, гибкость, доступность, точность). Для нечетких параметров задаются функции принадлежности; оценки объединяются в каскадной схеме НЛВ для получения комплексного балла холона.

Комплексная оценка  $i$ -го холона формируется как выход нечеткой модели:

$$S_i = \text{НЛВ}_i(x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,k}), S_i \in [0][100], \quad (29)$$

где  $x_{i,j}$  – нормированные значения частных критериев (эргономика, стресс, время, память, надежность и др.).

Конфигурация СУ определяется как комбинация по одному холону каждого типа:

$$C = (h_1, h_2, \dots, h_m), \quad (30)$$

где  $m$  – число типов холонов (заказы, ресурсы, продукты, цех, HMS, DWH). Множество допустимых конфигураций является декартовым произведением множеств холонов каждого типа:

$$C = H_1 \times H_2 \times \dots \times H_m. \quad (31)$$

Для каждой конфигурации  $C \in C$  формируется вектор агрегированных критериев:

$$\Phi(C) = (\Phi_1(C), \Phi_2(C), \Phi_3(C), \Phi_4(C), \Phi_5(C)), \quad (32)$$

где:  $\Phi_1(C) = \sum_{i=1}^m S_i$  – суммарная комплексная оценка холонов (максимизация),

$\Phi_2(C) = \sum_{i=1}^m T_i$  – суммарное время работы алгоритмов (минимизация),

$\Phi_3(C) = \sum_{i=1}^m L_i$  – суммарная длина маршрутов (минимизация),

$\Phi_4(C) = \sum_{i=1}^m M_i$  – суммарный объем памяти (минимизация),

$\Phi_5(C) = \prod_{i=1}^m P_i$  – вероятность безотказной работы конфигурации (максимизация).

Далее проводится многокритериальный отбор конфигураций по Парето. Конфигурация  $C^{(a)}$  доминирует конфигурацию  $C^{(b)}$ , если:

$$\begin{cases} \Phi_k(C^{(a)}) \geq \Phi_k(C^{(b)}), & \forall k \in \{1,5\}, \\ \Phi_k(C^{(a)}) \leq \Phi_k(C^{(b)}), & \forall k \in \{2,3,4\}, \\ \exists j: \Phi_j(C^{(a)}) \neq \Phi_j(C^{(b)}). \end{cases} \quad (33)$$

Множество недоминируемых конфигураций образует фронт Парето  $C^*$ .

Для выбора единственной оптимальной конфигурации из  $C^*$  используется агрегированная целевая функция с весами:

$$\Psi(C) = \sum_{k=1}^5 w_k \tilde{\Phi}_k(C) \rightarrow \max, \quad (34)$$

где  $\check{F}_k(C)$  – нормированные значения критериев,  
 $w_k$  – весовые коэффициенты, отражающие приоритеты (качество, быстродействие, надежность и др.).

Предусмотрен механизм адаптивного переключения конфигураций в процессе эксплуатации при:

- увеличении числа требований и сложности задач;
- росте числа точек (нагрузки на алгоритмы);
- ухудшении эргономики (устойчивое повышение ЧСС, увеличение времени до целевого действия);
- снижении надежности (падение вероятности безотказной работы ниже порога).

Предложены рекомендации по выбору конфигурации холонической СУ в зависимости от диапазонов числа требований и числа точек; они учитывают тип алгоритмов (точные, эвристические, быстрые) и тип интерфейса (стандартный, оптимизированный по Парето, упрощенный).

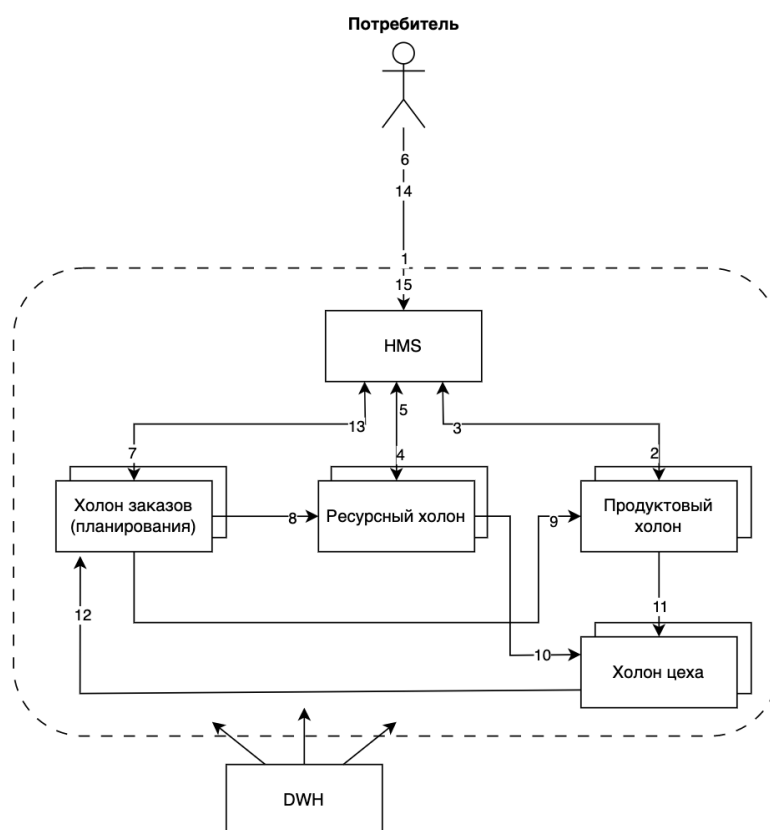


Рисунок 7 – Схема процессов HMS

В четвертой главе показано, что разработанная модель управления машиностроительным производством адекватно отражает реальные условия эксплуатации. Формализация требований на внешнем уровне, сочетание комбинаторной оптимизации и экспериментальных измерений когнитивных критериев позволили выявить недостатки интерфейса и логики действий в СУ. Анализ алгоритмов подтвердил необходимость гибридного набора методов на концептуальном уровне. Модель на основе нечеткой логики обеспечила комплексную оценку архитектуры СУ и выявление слабых критериев. Построение архитектуры на основе автономных элементов (холон) и учет человеческого фактора в моделях надежности позволили связать архитектурные решения с по-

казателями качества, надежности и удобства использования систем управления машиностроительным производством. Механизм гибридного подхода к выбору конфигурации СУ обеспечивает возможность адаптивного переключения между конфигурациями при изменении требований, нагрузки и условий эксплуатации.

**В главе 5 «Исследование эффективности платформы для анализа информации о системе управления машиностроительным производством»** исследована эффективность платформенного решения для анализа информации о системе управления машиностроительным производством. Разработана аналитическая платформа на основе технологий бизнес-интеллекта, проведена оценка устойчивости и качества модели архитектуры СУ на основе автономных элементов.

**В параграфе 5.5** приведена практическая реализация и внедрение результатов диссертации, которые демонстрируют, что разработанные теоретические положения верифицируются на уровне реальной системы управления машиностроительным производством.

Современное машиностроительное предприятие обладает высокой степенью автоматизации процессов, и сбор информации не является проблемой. Задача заключается в правильной обработке данных для последующего анализа с использованием комплексной системы аналитики, обеспечивающей сбор, хранение, консолидацию и наглядную визуализацию данных из различных источников.

При входе на платформу пользователь попадает на главную страницу, где доступны разделы: главная страница, индикаторы, контроль защищенности, контроль эффективности, управление активами, соответствие стандартам, распространение уязвимостей, статистика сканирования. На главной странице отображаются показатели информационной безопасности по всей инфраструктуре в целом с возможностью детализации по подразделениям. Все показатели логически разбиты на четыре группы: контроль защищенности, контроль эффективности, управление активами, соответствие стандартам. Возможность выбора расчетного периода позволяет проводить ретроспективный анализ и анализ динамики за прошлые периоды.

В разделе «Контроль защищенности» отображаются данные по обнаруженным уязвимостям инфраструктуры за выбранный расчетный период и динамика их изменения. Основные показатели включают распределение уязвимостей разного уровня и узлов с максимальным уровнем уязвимости, данные по интегральной уязвимости инфраструктуры, среднее количество уязвимостей на узел, графики изменения количества обнаруженных уязвимостей и уязвимых узлов по оси времени.

Раздел «Контроль эффективности» предоставляет информацию по выполнению заданного плана сканирования инфраструктуры, выполнению плана ввода в эксплуатацию компонентов системы анализа защищенности, количеству устраненных уязвимостей, соблюдению заданной регулярности сканирования.

В разделе «Управление активами» представлена информация по инвентаризации и контролю установленного программного обеспечения (по «черно-белым» спискам): обязательное к установке ПО, запрещенное ПО, поддерживаемое ПО (рисунок 8).

## Установленное программное обеспечение

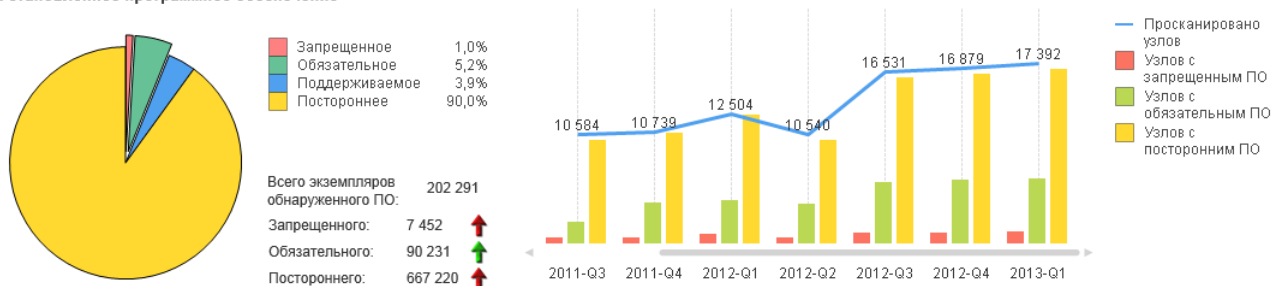


Рисунок 8 – Управление активами

Раздел «Соответствие стандартам» отображает информацию по узлам, соответствующим стандартам, а также количество и динамику соответствий требованиям.

Раздел «Статистика сканирования» отображает ход сканирования в текущем расчетном периоде, включая текущий показатель выполнения плана сканирования, соблюдение регулярности сканирования, подразделения, выполнившие или не проводящие сканирование, статистику использования серверов и сканеров, выполненные задачи сканирования, текущие версии и лицензии компонентов.

Существует ряд характерных рисков, связанных с анализом больших объемов данных: необходимость увеличения затрат на анализ вследствие отсутствия стандартизации, замедление формирования и обработки потока данных, киберугрозы и риски утечки конфиденциальной информации. Интеллектуальный анализ данных рассматривается как процесс обнаружения практически значимых сведений в крупных массивах данных с применением математических методов для выявления закономерностей и тенденций. В контроле защищенности основное понятие – уязвимость, как недостаток в системе управления производством, используя который можно намеренно нарушить ее целостность и вызвать неправильную работу.

Основной целью функционирования системы анализа защищенности является своевременность выявления и устранения уязвимостей. В больших информационных инфраструктурах, территориально распределенных системах, высоконагруженных системах данная задача становится трудновыполнимой, в силу как объективных, так и субъективных причин, основу которым составляет человеческий фактор.

Исходя из полученных в результате проведения серии экспериментов результатов, можно сделать следующие выводы:

- перевод результатов сканирования архитектуры автоматизированной системы в расчетные показатели количественных оценок, с их последующим анализом в режиме реального времени способствует оперативному принятию управленческих решений;
- данный метод обладает высокой эффективностью именно на предприятиях с широко развитой филиальной сетью;
- при применении предлагаемого метода время принятия управленческих решений сокращается от 2,81 до 17,72 раза, в зависимости от размеров филиальной сети организации.

В рамках экспериментального исследования сформировано пять сценариев рисков, охватывающих три группы: организационно-управленческие, технологические и технические. Каждый сценарий описывает определенную комбинацию изменений параметров  $\lambda_i$ ,  $\mu_i$ ,  $\omega_i$ ,  $\nu_i$  по сравнению с базовым режимом работы СУ.

Для каждого сценария рассмотрены две конфигурации архитектуры СУ:  $a_1$  – конфигурация, выбранная по результатам оптимизации без явного учета рисков (на основе номинальных параметров  $\lambda_0, \mu_0, w_0$ );  $a_2$  – конфигурация, полученная с применением метода (оптимизация по обобщенному критерию  $K_{об}$  сценариев  $r_1 \div r_5$ ).

Для каждой пары  $(a_j, r_i)$  рассчитаны ключевые показатели надежности: стационарный коэффициент готовности  $K_r$ , вероятность безотказной работы  $P_{бр}(t)$  на интервале  $t = T_{план}$  (соответствует плановому периоду работы СУ), средняя наработка между отказами  $T_{м.о.}$  и вероятность образования очереди  $P_{оч}$ .

Анализ полученных данных показывает, что в базовом сценарии  $r_1$  конфигурация  $a_1$ , выбранная без учета рисков, демонстрирует несколько более высокие показатели ( $K_r = 0,985$  против  $0,982$ ). Однако при реализации рисков (сценарии  $r_2 \div r_5$ ) конфигурация  $a_2$  обеспечивает существенно лучшие показатели надежности. Обобщенный критерий  $K_{об}(a_j)$  для конфигураций составляет:  $K_{об}(a_1) = 0,910$  (минимум достигается в сценарии  $r_5$ );  $K_{об}(a_2) = 0,945$  (в сценарии  $r_5$ ). Таким образом, конфигурация  $a_2$  обеспечивает повышение минимального уровня готовности на 3,5 процентных пункта по сравнению с конфигурацией, выбранной без учета рисков.

При организации системы управления производством необходимо обеспечить его устойчивость и требуемое качество. Для этого нужно выбрать корректирующие звенья из условий устойчивости системы и установить связь между параметрами системы и ее динамикой.

Для проведения анализа устойчивости введены обозначения:  $x_i, y_i, z_i$  – агрегированные показатели автономного элемента на внешнем, концептуальном и внутреннем уровне, связанные с  $i$ -м элементом;  $\alpha, \beta, \varepsilon$  – допуски значений агрегированных значений;  $K_\alpha W_\alpha(s), K_\beta W_\beta(s), K_\varepsilon W_\varepsilon(s)$  – передаточные функции каналов взаимодействия элементов СУ.

Если пренебречь связями между каналами, то вопрос об устойчивости СУ сводится к решению задачи об устойчивости трех одномерных каналов, описываемых следующими уравнениями:

Для внешнего уровня представления:

$$v_1(s) = K_\alpha W_\alpha(s) \cdot F_x(s) \cdot F_{HR}(s) \cdot F_t(s), \quad (35)$$

где  $F_x(s)$  – функция распределения длины маршрута блуждания взгляда,

$F_{HR}(s)$  – функция распределения значений ЧСС,

$F_t(s)$  – функция распределения времени до целевого действия.

Для концептуального уровня:

$$v_2(s) = K_\beta W_\beta(s) \cdot F_T(s) \cdot F_Q(s) \cdot F_M(s), \quad (36)$$

где  $F_T(s)$  – функция распределения временной сложности алгоритма,

$F_Q(s)$  – функция распределения качества решения,

$F_M(s)$  – функция распределения объема занимаемой памяти.

Для внутреннего уровня:

$$v_3(s) = K_\varepsilon W_\varepsilon(s) \cdot F_M(s) \cdot F_V(s), \quad (37)$$

где  $F_M(s)$  – функция распределения объема занимаемой памяти,

$F_V(s)$  – скорость обработки запроса.

Совокупность передаточных функций  $v_i(s)$  названа эквивалентной системой. С помощью метода эквивалентных систем оценено влияние на устойчивость взаимосвязей определенного типа в предположении, что другие связи отсутствуют и передаточные функции одномерных каналов одинаковы. Сущность метода заключается в замене

трехмерной взаимосвязанной системы на систему, состоящую из трех одномерных каналов с передаточными функциями в разомкнутом состоянии  $v_i(s)$ , где  $i = 1, 2, 3$ , при этом обе системы с точки зрения устойчивости эквивалентны.

Метод эквивалентных систем позволяет оценить влияние связей на устойчивость как изменение передаточных функций разомкнутых систем независимых одномерных каналов или их частотных характеристик, что является удобным в практике.

Для устойчивости системы достаточно, чтобы одномерные каналы имели запас  $\pm \lambda$  и были устойчивы при изменении  $H$  в пределах  $H(1 \pm \lambda)$ , где  $\lambda$  – максимальное допускаемое значение параметра.

Крутизна характеристики разгрузки и корректирующие звенья найдены при выборе для всех каналов значения показателя колебательности  $M = 1,7$ . Для всех каналов передаточная функция корректирующих звеньев:

$$W_{\text{кор}}(s) = \frac{1 + T_g s}{1 + T_f s}. \quad (38)$$

Дифференцирующее звено  $(1 + T_g s)$  предназначено для компенсации постоянной времени, а апериодическое звено – для фильтрации переменных составляющих сигнала. Пренебрегая постоянной времени, получено:

$$T_g = \frac{1}{\omega_c}, T_f = \frac{1}{M\omega_c}. \quad (39)$$

По показателю колебательности  $M$ , выбрав  $\omega_c$ , найдены величины параметров корректирующих звеньев.

Уточнены параметры разгрузки с учетом влияния взаимосвязей. Наиболее существенное влияние на устойчивость оказывает частота вносимых изменений в систему и ограничение вычислительных мощностей.

Для получения нормальных запасов устойчивости достаточно снизить частоту вносимых изменений одномерного канала в 1,312 раз.

Для оценки качества СУ необходимо провести анализ величины ошибки. Обязательным условием для получения статистически значимых результатов является обеспечение стационарности исследуемых временных рядов с использованием следующих тестов: Дики–Фуллера (проверяется гипотеза, согласно которой временной ряд является нестационарным), Квятковского–Филлипса–Шмидта–Шина (КФШШ) (проверяется нулевая гипотеза о стационарности временного ряда).

В условиях малых выборок стандартные тесты (Дики–Фуллера и КФШШ) могут давать противоречивые результаты. Поэтому необходимо дополнить два указанных метода анализом автокорреляционной функции (АКФ). Выборочную корреляционную функцию можно представить в виде формулы:

$$r_k = \frac{\sum_{t=k+1}^N (x_t - \bar{x})(x_{t-k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x})^2}, \quad (40)$$

где  $k$  — значение временного лага,  $k = 1, \dots, N - 1$ .

Характерной чертой нестационарных процессов является медленное затухание АКФ, при этом значение первого коэффициента автокорреляции  $r_1$  оказывается близким к единице. Тем самым, в качестве критерия прохождения теста будет применяться условие  $r_1 < 0,9$ .

Ряд классифицируется как стационарный, если по результатам теста Дики–Фуллера было получено значение  $p\text{-value} < 0,05$ . В случае невыполнения описанного условия применяется тест КФШШ. Если полученное значение  $p\text{-value}$  второго теста будет

больше 0,05 и анализ автокорреляционной функции покажет, что  $r_1 < 0,9$ , то ряд также классифицируется как стационарный.

Если по результатам тестов ряд признается нестационарным или же полученные оценки являются неоднозначными, осуществляется неоднократное дифференцирование по формуле:

$$\Delta^d x_t = \Delta^{d-1} x_t - \Delta^{d-1} x_{t-1}, \quad (41)$$

где  $d$  – порядок приращения.

Процедура последовательного дифференцирования и тестирования повторяется до тех пор, пока ряд не станет стационарным.

Основной моделью является восстановление эмпирических данных с использованием разложения в ряд Фурье по формуле:

$$\hat{x}_t = C + \sum_{j=1}^q A_j \sin(2\pi f_j t + \phi_j) + \varepsilon_t, \quad (42)$$

где  $C$  – постоянное число,

$A_j$  – амплитудные коэффициенты,

$j$  – номер гармоники,

$\varepsilon_t$  – ошибка прогноза.

Разложение в ряд Фурье позволяет описать динамику с использованием меньшего количества параметров, что делает модель сбалансированной. В то же время основным ограничением является предположение о неизменности отобранных частот и значений амплитуд на всем промежутке прогнозных значений.

Для оценки ошибки используется интегральная мера отклонения, представляющая собой площадь между действительной и выявленной прогнозной функцией показателя, определяемая по формуле:

$$E = \sum_{t=T_{\text{start}}}^{T_{\text{end}}} |x_t - \hat{x}_t|, \quad (43)$$

где  $T_{\text{start}}$  – номер квартала, на котором закончилось обучение модели,

$T_{\text{end}}$  – количество прогнозных кварталов.

Для проведения комплексного анализа качества модели используются две группы показателей.

Среднеквадратичная ошибка (MSE):

$$\text{MSE} = \frac{1}{h} \sum_{t=T_{\text{start}}}^{T_{\text{start}}+h} (x_t - \hat{x}_t)^2. \quad (44)$$

Средняя абсолютная ошибка (MAE):

$$\text{MAE} = \frac{1}{h} \sum_{t=T_{\text{start}}}^{T_{\text{start}}+h} |x_t - \hat{x}_t|. \quad (45)$$

Средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE):

$$\text{MAPE} = \frac{100\%}{h} \sum_{t=T_{\text{start}}}^{T_{\text{start}}+h} \left| \frac{x_t - \hat{x}_t}{x_t} \right|. \quad (46)$$

Симметричная средняя абсолютная процентная ошибка (SMAPE):

$$\text{SMAPE} = \frac{100\%}{h} \sum_{t=T_{\text{start}}}^{T_{\text{start}}+h} \frac{|x_t - \hat{x}_t|}{(|x_t| + |\hat{x}_t|)/2}. \quad (47)$$

Средняя абсолютная масштабированная ошибка (MASE):

$$\text{MASE} = \frac{\text{MAE}}{\frac{1}{T_{\text{start}}-1} \sum_{t=2}^{T_{\text{start}}} |x_t - x_{t-1}|}. \quad (48)$$

U-коэффициент Тейла:

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{h} \sum_{t=T_{\text{start}}}^{T_{\text{start}}+h} (x_t - \hat{x}_t)^2}}{\sqrt{\frac{1}{h} \sum_{t=T_{\text{start}}}^{T_{\text{start}}+h} (x_t - x_{t-1})^2}}. \quad (49)$$

Если  $U < 1$ , то прогноз лучше наивного; если  $U > 1$ , то прогноз хуже наивного.

Анализ полученных значений показал аномально высокие значения SMAPE и MAPE, которые обусловлены тем, что данная метрика применялась к стандартизированным данным, принадлежащим сегменту  $[-1,1]$ . Тем самым, расчет значений приводит к искажению вывода об оценке качества построенной модели.

Тем не менее, согласно концепции Г. Тейла, одним из основных критериев эффективности является U-коэффициент, значения которого в данном случае опускаются ниже единицы при прогнозировании на 2–4 квартала. Это подтверждает, что разложение в ряд Фурье превосходит по точности наивный прогноз в указанных горизонтах.

Значение  $\text{MASE} < 1$  свидетельствует о том, что точность предлагаемой модели превосходит среднюю точность наивного метода. Это указывает на то, что ошибка предлагаемой модели ниже средней величины квартальных изменений ряда. В то же время значения U-коэффициента для данных показателей на горизонте прогнозирования более двух кварталов остается меньше единицы. Данное рассогласование метрик обусловлено тем, что U Тейла сопоставляет ошибку модели с наивным прогнозом в тестовом периоде.

Для анализа функционирования системы управления машиностроительным производством в режиме реального времени разработано платформенное решение, которое позволяет выявить перспективное направление в развитии технологий. Результаты и материалы проведенного исследования могут использоваться на практике для повышения эффективности при принятии управленческих решений.

Дальнейшее продолжение данной работы можно проводить в области автоматизации принятия управленческих решений и автоматического анализа ключевых показателей эффективности в информационной безопасности на их основании.

Таким образом разработанная методология организации системы управления машиностроительным производством, включает представление и оценку системы управления в виде совокупности автономных элементов на внешнем, концептуальном и внутреннем уровне с использованием эргатических подходов, нечетких множеств и нечеткой логики, теории систем и теории надежности; применение методов многокритериальной оптимизации и вероятностной модели принятия решений для выбора конфигурации системы управления, а также разработку аналитической платформы для мониторинга показателей качества и надежности системы управления в режиме реального времени.

В совокупности результаты демонстрируют, что разработанные теоретические положения диссертации имеют практическую реализацию и верификацию на уровне

реальной системы управления машиностроительным производством. Значимость разработанных моделей и методов подтверждается их внедрением в деятельность ряда предприятий и организаций, что подтверждено соответствующими актами внедрения. В АО «Газпром автоматизация» результаты диссертации были использованы при оценке цифровой зрелости информационной инфраструктуры одного из объектов управления и при проектировании конфигурации системы управления, основанной на холонической архитектуре. В ООО «Орбита» результаты работы применены при разработке и тестировании аналитической платформы для задач мониторинга информационной безопасности и управления уязвимостями и при оптимизации интерфейсов и отчетных форм в соответствии с эргатическими критериями, полученными в диссертации. В ООО «Генон» результаты диссертационной работы внедрены при модернизации внутреннего уровня архитектуры системы управления, связанного с базами данных и при оценке и повышении надежности системы управления с учетом человеческого фактора.

По результатам теоретических и экспериментальных работ в области анализа качества архитектур систем управления машиностроительным производством опубликованы и изданы два учебно-методических пособия, которые используются в учебном процессе.

### **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ:**

Реализация цели и задач, сформулированных в рамках диссертационного исследования, позволила получить новые научно-обоснованные результаты и апробировать их при организации комплексных автоматизированных систем и повышения эффективности управления жизненным циклом продукции предприятий машиностроения.

1. Для организации оптимальной архитектуры системы управления производством обоснована необходимость разработки методологии с применением различных методов исследования, основанных на разделах прикладной математики и информатики, и анализа влияния архитектуры на управление жизненным циклом и качество продукции.

2. Для автоматизированной оценки уровня цифровой зрелости машиностроительного производства и агрегирования данных необходимо использовать разработанную систему автоматического сбора и анализа данных, учитывающую уровень текущей автоматизации процессов на предприятии на различных этапах жизненного цикла и иерархию процессов.

3. Применение для оценки системы управления машиностроительным производством на внешнем уровне представления методов и алгоритмов нечеткого логического вывода, описывающих функционально-технологические, производственные аспекты и когнитивные факторы человеко-машинного взаимодействия, и методов комбинаторной оптимизации позволяют выбрать оптимальную конфигурацию системы.

4. Выбор конфигурации системы управления машиностроительным производством на внешнем, концептуальном и внутреннем уровне должен осуществляться на основании формализованной модели принятия решений и разработанной системы для сбора и анализа данных на макро и микромасштабе методами исследования эргатических функций, комбинаторной оптимизации, использованием точных и эвристических алгоритмов.

5. Оценка критериев и организация компоновки элементов архитектуры системы управления машиностроительным производством осуществляется с использованием

обоснованных методов нормализации данных и агрегирования показателей через корреляцию интеркритериев, основанной на реляционной модели данных, инструментах координации выполнения вычислительных задач при управлении жизненным циклом учетом человеко-машинного взаимодействия.

6. Повышения эффективности управления предприятием необходимо проводить с использованием комплексной системы для сбора, хранения, консолидации и наглядной визуализации данных из различных источников для интерактивного анализа состояния автоматизированной системы, решения задачи инвентаризации и учета информационных активов, изучения динамики надежности системы, управления жизненным циклом продукции в режиме реального времени.

**Рекомендации.** Разработанные модели и методы оценки качества и организации архитектур систем управления машиностроительным производством может быть дополнена различными группами критериев и адаптирована под уровень цифровой зрелости на различных предприятиях. Так же, при наличии достаточных накопленных знаниях о системе, в модель можно включить прогнозную аналитику и модели машинного обучения для повышения качества управления производством. Так же необходимо при разработке стандартов в этой области использовать разработанные инструменты и методы оценки для анализа данных.

**Перспективы** дальнейшего развития темы состоят в разработке модуля предиктивной аналитики и моделей машинного обучения для выработки решений по цифровизации машиностроительных производств. Полученные результаты дадут возможность оптимального использования существующих информационных активов предприятия, повышая качество и надежность архитектуры автоматизированной системы для управления технологическими системами производств.

#### **Список работ, опубликованных автором по теме диссертации**

##### **Публикации в журналах, входящих в Перечень изданий, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ по специальности 2.5.22**

1. **Скворцова Д.А.** Анализ качества сборки изделий с использованием восстановления регрессии / **Д.А. Скворцова**, С.В. Александрова, Е.С. Постникова // Известия Самарского научного центра РАН. – 2025. – т. 27, №6. С. 55 – 63

2. **Скворцова Д.А.** Методы спектрального отображения данных сцинтилляционных детекторов и классификации состава локальных включений / Н.А. Голубев, И.А. Лоскутов, **Д.А. Скворцова** // Наука и бизнес: пути развития. – 2026. – № 1(175). – С. 84-87. – EDN KSSXDL.

3. **Скворцова Д.А.** Архитектура системы семантического поиска и генерации ответов на основе корпоративной документации с применением мультивекторного представления знаний / Е.М. Маковский, **Д.А. Скворцова** // Наука и бизнес: пути развития. – 2026. – № 3(177). – С. 28-31. – EDN JZWSKS.

4. **Скворцова Д.А.** Анализ методов оценки остаточного ресурса на машине при непрерывном литье заготовок / С.А. Чупис, **Д.А. Скворцова**, Е.В. Ершова // Наука и бизнес: пути развития. 2025. № 4(166). С. 164 – 167.

5. **Скворцова Д.А.** Анализ методов оценки уровня цифровой зрелости промышленных предприятий / И.А. Гирин, Е.Н. Лобачева, **Д.А. Скворцова** // Наука и бизнес: пути развития. 2025. № 1(163). С. 79 – 81.

6. **Скворцова Д.А.** Анализ устойчивости иерархических систем на основе принципа Питера и парадокса выживания слабейшего / М.Р. Прокудин, А.Д. Чернов, **Д.А. Скворцова** // Наука и бизнес: пути развития. – 2025. – № 12(174). – С. 38-42.

7. **Скворцова Д.А.** Эволюция технологии беспилотных летательных аппаратов: от прошлого к будущему / М.Е. Куликова, П.В. Платонов, **Д.А. Скворцова** // Наука и бизнес: пути развития. 2024. № 11(161). С. 143 – 146.

8. **Скворцова Д.А.** Анализ коэффициентов корреляции показателей целей устойчивого развития / **Д.А. Скворцова**, Б.А. Швайко, Н.О. Романов, Н.А. Филин // Наука и бизнес: пути развития. 2024. № 12(162). С. 48 – 51.

9. **Скворцова Д.А.** Развитие Интернета вещей и его роль в современной логистике / Т.А. Хасанов, **Д.А. Скворцова**, Б.А. Эдаев // Наука и бизнес: пути развития. 2024. № 5(155). С. 113 – 117.

10. **Скворцова Д.А.** Архитектура холонической производственной системы / А.А. Федина, **Д.А. Скворцова** // Автоматизация в промышленности. 2023. № 8. С. 8 – 13.

11. **Скворцова Д.А.** Динамическое нормирование с использованием метода агентного моделирования процесса сборки оборудования для атомных электростанций / И.А. Лоскутов, **Д.А. Скворцова**, В.Г. Искандарова // Омский научный вестник. 2023. № 1(185). С. 46 – 52.

12. **Скворцова Д.А.** Методы анализа и оценки показателей целей устойчивого развития / **Д.А. Скворцова**, А.А. Кузнецов, Б.А. Швайко, Н.О. Романов // Наука и бизнес: пути развития. 2023. № 12(150). С. 215 – 218.

13. **Скворцова Д.А.** Обзор методов нормализации критериев устойчивого развития / Б.А. Швайко, **Д.А. Скворцова**, А.А. Кузнецов, Н.О. Романов // Наука и бизнес: пути развития. 2023. № 12(150). С. 44 – 47.

14. **Скворцова Д.А.** Особенности организации интеллектуальных производственных систем / **Д.А. Скворцова**, Е.В. Ершова // Наука и бизнес: пути развития. 2022. № 3(129). С. 92 – 94.

15. **Скворцова Д.А.** Анализ политик динамического нормирования запасов / **Д.А. Скворцова**, Ю.А. Бабаева, А. Мармулев // Наука и бизнес: пути развития. 2022. № 6(132). С. 75 – 78.

#### **Публикации в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science**

16. **Skvortsova D.A.**, Girin I.A., Development of Database Architecture for Assessing the Digital Maturity Index of Industrial Enterprises //2026 International Conference on Integrated Intelligence and Cognitive Engineering (ICIICE). – IEEE, 2026. – С. 1-5.

17. **Skvortsova D.A.** et al. Building an information system architecture for analyzing the criteria of sustainable development goals //Lex localis-Journal of Local Self-Government. 2025. T. 23. №. S5. pp. 1093 – 1109.

18. **Skvortsova D.A.** et al. Exploring Contextualized Embeddings for C++ Code Search and Algorithms Classification //2025 7th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). – IEEE, 2025. pp. 1 – 6.

19. **Skvortsova D.A.** et al. Studying Data Normalization Methods in the Sustainable Development Indicators Analysis //2025 7th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). IEEE, 2025. pp. 1 – 4.

20. **Skvortsova D.A.** et al. Corporate Portal as a Visual Information Analysis Tool for the Management Decision Support System //2025 7th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). IEEE, 2025. pp. 1 – 5.

21. **Skvortsova D.A.** Electronic component base of the power supply system of the Russian Segment of the International Space Station. Problems and measures ensuring continuation of the space flight / **D.A. Skvortsova**, N.O. Romanov. Moscow: 5th REEPE 2023, 2023

22. **Скворцова Д.А.** Разработка гибридной имитационной модели сборочного цеха / **Д.А. Скворцова**, Е. Л. Чувильгин, А. В. Смирнов, Н. О. Романов // Компьютерные исследования и моделирование. 2023. Т. 15, № 5. С. 1359 – 1379.

23. **Скворцова Д.А.** Сравнение результатов применения различных эволюционных алгоритмов для решения задачи оптимизации маршрута беспилотных аппаратов / **Д.А. Скворцова**, А. А. Федина, А. И. Нургалиев // Компьютерные исследования и моделирование. 2022. Т. 14, № 1. С. 45 – 62.

#### **Прочие публикации:**

24. **Скворцова Д.А.** Исследование применения многомерного анализа данных в транспортной логистике / В.А. Афанасьева, К.Д. Руденко, **Д.А. Скворцова** // Логистика. 2024. № 1(206). С. 30 – 33.

25. **Скворцова Д.А.** Прогнозирование выручки инновационного продукта ГК "Росатом" - сбалансированный ядерный топливный цикл / **Д.А. Скворцова**, А.Д. Ильин, К.А. Солониченко // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2024. Т. 22, № 1. С. 153 – 170.

26. **Скворцова Д.А.** Особенности информационной системы управления логистикой на дворовой территории / **Д.А. Скворцова**, Е.В. Ершова, М.М. Флигиль // Логистика. 2023. № 5(198). С. 28 – 32.

27. **Скворцова Д.А.** Обоснование необходимости организации эффективного высокотехнологичного отечественного производства / **Д.А. Скворцова**, Н.О. Романов // Управление устойчивым развитием. 2023. № 1(44). С. 29 – 38.

28. **Скворцова Д.А.** Современные методы управления в транспортной логистике / **Д.А. Скворцова**, К.Д. Руденко // Наука и бизнес: пути развития. 2023. № 11(149). С. 49 – 53.

29. **Скворцова Д.** Современные тенденции развития технологий Индустрии 4.0 при управлении цепями поставок / **Д. Скворцова**, О. Зобнина, А. Дю // Логистика. 2022. № 1(182). С. 32 – 36.

30. **Скворцова Д.А.** Разработка стратегии развития и внедрения инноваций на промышленных предприятиях / **Д.А. Скворцова**, Н.О. Романов // Управление устойчивым развитием. 2022. № 3(40). С. 27 – 39.

31. **Скворцова Д.А.** Оптимизация маршрута беспилотных аппаратов при использовании на складе с использованием генетических алгоритмов / **Д. Скворцова**, А. Федина, В. Кульбацкая, Д. Ермаков // Логистика. 2021. № 6(175). С. 16 – 19.

32. **Скворцова Д.А.** Построение системы оценки мотивации персонала при стратегическом управлении организацией / **Д.А. Скворцова**, Д.А. Сафонова // Организатор производства. 2021. Т. 29, № 3. С. 91 – 100.

33. **Скворцова Д.** Развитие интеллектуальной системы мониторинга и сбора отходов с использованием технологий Интернета вещей и эволюционных алгоритмов / **Д. Скворцова**, А. Алмырзаева, Ю. Савинова // Логистика. 2020. № 6(163). С. 35 – 37.

34. **Скворцова Д.А.** Применение нейромаркетинговых технологий при разработке и анализе информационных систем / **Д.А. Скворцова**, Ю.С. Савинова, А.К. Алмырзаева // Практический маркетинг. 2020. № 5(279). С. 3 – 9.

35. **Скворцова Д.А.** Построение системы многокритериальной оценки персонала по методу "360 градусов" при стратегическом управлении предприятием на основе системы сбалансированных показателей / **Д.А. Скворцова** // Организатор производства. 2017. Т. 25, № 3. С. 97 – 105.

**Монографии:**

36. Системы управления жизненным циклом изделий машиностроения: монография / **Д.А. Скворцова**, А.В. Рагуткин, И.Н. Омельченко. – М.: Типография «Эко-Пресс». 2026. – 342 с. ISBN 978-5-6055606-3-0

37. Моделирование технологического обеспечения качества продукции машиностроения: монография / А.В. Рагуткин, А.Ю. Албагачиев, **Д.А. Скворцова** и др.; Под общ. ред. А.В. Рагуткина. – М.: Типография «Эко-Пресс». 2026. – 454 с. ISBN 978-5-6055606-2-3

**В том числе, зарегистрированные объекты РИД:**

38. Патент на полезную модель № 58975 U1 Российская Федерация, МПК B25J 15/00. Схват сборочного робота для установки плат: № 2006121361/22: заявл. 19.06.2006: опубл. 10.12.2006 / Ю.Ф. Назаров, А.В. Скворцов, **Д.А. Скворцова**; заявитель МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОТКРЫТЫЙ УНИВЕРСИТЕТ.

39. Патент на полезную модель № 59325 U1 Российская Федерация, МПК H01L 31/00. фотоэлемент: № 2006121362/22: заявл. 19.06.2006: опубл. 10.12.2006 / А.В. Скворцов, А.Н. Волобуев, **Д.А. Скворцова**; заявитель Московский государственный открытый университет.

40. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024667653 Российская Федерация. Восстановление регрессии при анализе качества сборки: № 2024661272: заявл. 15.05.2024: опубл. 26.07.2024 / **Д.А. Скворцова**, Н.О. Романов, И.А. Лоскутов, И.И. Фатклисламова.

41. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024668658 Российская Федерация. Имитационная модель сборочного цеха: № 2024661273: заявл. 15.05.2024: опубл. 09.08.2024 / **Д.А. Скворцова**, Д.А. Чмырь.

42. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2026620900 Российская Федерация. База данных для агрегирования показателей целей устойчивого развития: заявл. 10.12.2025: опубл. 03.03.2026 / **Д.А. Скворцова**, Д.А. Чмырь. – EDN UIAYAG.

43. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025682115 Российская Федерация. Преобразователь аналоговых сигналов: заявл. 20.06.2025: опубл. 20.08.2025 / А.Р. Кошевой, А.В. Рагуткин, **Д.А. Скворцова** [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет». – EDN KPCUJV.

Подписано в печать 28.09.2026. Формат 60 х 90 / 16.  
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 2.  
Тираж 100 экз. Зак. 93. Поз. плана 2н.

Издательство  
«Типография «Эко-Пресс»  
105187, г. Москва, ул. Щербаковская, д. 53, корп. 16  
[www.eko-press.ru](http://www.eko-press.ru)

Отпечатано в ФКП «НИО ГБИП России»  
141292, Московская область., г.о. Пушкинский,  
г. Красноармейск, проспект Испытательский, д.14