

На правах рукописи



Конев Константин Анатольевич

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ
СИТУАЦИОННО-ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА**

2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации, статистика
(технические науки)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Уфа – 2026

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологии» на кафедре автоматизированных систем управления.

Научный консультант: доктор технических наук, доцент
Антонов Вячеслав Викторович

Официальные оппоненты:

Филимонов Николай Борисович, доктор технических наук, с.н.с., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», профессор кафедры физико-математических методов управления, главный редактор журнала «Мехатроника, автоматизация, управление».

Затонский Андрей Владимирович, доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Березниковский филиал, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов.

Масич Игорь Сергеевич, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», профессор кафедры системного анализа и исследования операций.

Ведущая организация: ФГБОУ Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, г. Самара.

Защита диссертации состоится 21 декабря 2026 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.479.02 на базе ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» по адресу: 450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» и на сайте: www.uust.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, доцент



О.Н. Сметанина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Современные условия характеризуются размыванием границ между уровнями управления: задачи оперативного уровня всё чаще требуют экспертных знаний, а аналитика необходима не через день, а в режиме реального времени. Возникает когнитивный дисбаланс, когда у исполнителя нет времени и компетенций для принятия адекватного решения. Актуальность темы обусловлена ростом сложности и скорости принятия решений в сфере обеспечения качества, где традиционные подходы, включая менеджмент по ISO 9000 и цикл PDCA, недостаточно эффективны, особенно в **типовых, нетиповых** и **кросс-уровневых** ситуациях. Существующие системы поддержки принятия решений (СППР) слабо учитывают многоуровневую природу управления (**продукт, процесс, система**) и не обеспечивают объяснимость и адаптивность. Наличие опыта работы с ситуацией позволяет использовать общие онтологические модели, а привязка ко времени требует учета ситуационного аспекта. Понятие **ситуация** понимается как *процесс выбора из альтернатив, зафиксированный во времени и основанный на максимально полной онтологии предметной области*.

Перспективным направлением решения проблем обеспечения качества является внедрение интеллектуальных методов по управлению в сфере обеспечения качества и цифровизация процессов контроля. Современные СППР на базе искусственного интеллекта открывают новые возможности для автоматизации подготовки решений в типовых и нетиповых ситуациях. Однако их успешное применение требует разработки единого аналитического аппарата для унифицированного описания управления в сфере обеспечения качества на всех уровнях предприятия – ситуационно-онтологического подхода (СОП), а также методологии интеллектуальной поддержки принятия решений, основанной на нём.

Степень научной разработанности темы исследования

Фундаментальные основы теории систем заложили К.Л. Берталанфи, А.А. Богданов, Н. Винер, И. Уемов, Ю.А. Урманцев, У.Р. Эшби. В области качества значительный вклад внесли Э. Деминг, К. Исикава, Ф. Кросби, А.Б. Фейгенбаум за рубежом и Г.Г. Азгальдов, Ю.П. Адлер, А.В. Гличев, М.Л. Кричевский в России.

Использование искусственного интеллекта при решении задач качества рассматривали П. Синонкель, Р. Бишопс, Е.А. Боргардт, Н.Н. Гоглев, К.Х. Зоидов. Теорию принятия решений развили Р.Э. Беллман (нечёткие условия), Э. Мулен (кооперативное принятие решений), Т. Саати (метод анализа иерархий), П. Фишберн (теория полезности), Н.Н. Моисеев (математические методы оптимизации), О.И. Ларичев (искусственный интеллект), В.В. Подиновский (многокритериальный анализ), И.Ф. Шахнов (согласование решений).

Ситуационный подход был введен Р. Моклером и развит такими учеными как В.Н. Пушкин, Д.А. Поспелов, А.Р. Бахтизин, Н.И. Юсупова, В.В. Миронов, О.Н. Сметанина. Концепция семантической сети предложена Тимом Бернерс-Ли, что стало основой для языка OWL.

Основы искусственного интеллекта заложили Дж. Маккарти, У. Маккаллоу, Т. Кохонен, А. Тьюринг, Э. Хант. В области интеллектуальных методов выделяются работы Т.А. Гавриловой, А.В. Лапко, Ю.Ф. Тельнова, В.И. Васильева, Б.Г. Ильясова, Д.В. Полупановой.

Теорию нечётких множеств развили Л. Заде, Р. А. Алиев, Л. С. Берштейн, Н.А. Кореневский. В современных исследованиях по адаптивному машинному обучению заметны работы E. Turban, D. Engelbart, V. Prikshat, Г.Ю. Силкина, G. Hulten, R. Anand, N. Gautier, V. Botu.

Однако существующие подходы недостаточно эффективно решают проблемы нетиповых ситуаций и согласования уровней управления качеством. Авторы либо предлагают вертикальную интеграцию от стратегических целей к операционным, либо фокусируются на конкретном уровне управления без комплексного рассмотрения взаимодействия между ними, что создает потребность в новой методологии, способной обеспечить системную интеграцию данных и методов для решения кросс-уровневых задач в условиях высокой неопределенности.

Объектом исследования является процесс принятия решения при реализации деятельности по обеспечению качества на промышленном предприятии.

Предметом исследования являются методы интеллектуальной поддержки принятия решений при реализации деятельности по обеспечению качества на промышленном предприятии.

Целью исследования является разработка методологических основ ситуационно-онтологического подхода (СОП) к поддержке принятия решений в сфере обеспечения качества промышленных предприятий, объединяющего методы ситуационного анализа, онтологического моделирования и теоретико-множественного формализма, с последующей реализацией в виде интеллектуальной СППР.

Для достижения главной цели были поставлены следующие задачи:

1) на основе анализа известных методологий и проблем предметной области разработать методологические основы ситуационно-онтологического подхода для формализации взаимодействия уровней управления (продукт, процесс, система) через онтологические модели и теоретико-множественные отношения при описании процесса поддержки принятия решений при управлении в сфере обеспечения качества промышленного предприятия;

2) на основе СОП разработать методы проектирования адаптивных инструментов СППР, реализующих полный цикл принятия решений с учётом типовых, нетиповых и кросс-уровневых ситуаций, для обеспечения гибкой настройки модулей системы под конкретные условия, повышения объяснимости выводов и реализации механизмов актуализации модели знаний;

3) разработать методологию поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества в промышленности, объединяющую формальные ситуационно-онтологические модели, гибридные методы искусственного интеллекта и машинного обучения для анализа данных, методы цифрового следа и обратной связи для самообучения, а также модульную трёхуровневую структуру СППР (продукт, процесс, система);

4) разработать комплексный метод интеграции ситуационно-онтологических моделей или её компонентов в бизнес-процессы и документооборот промышленного предприятия, как составляющую часть методологии интеллектуальной поддержки принятия решений, обеспечивающую двунаправленное преобразование между OWL-онтологиями и ситуационно-онтологической моделью и между OWL-онтологиями и нормативными документами;

5) разработать методику оценки эффективности методологии ИППР в сфере обеспечения качества на промышленных предприятиях, объединяющую количественные и качественные показатели в сфере обеспечения качества на промышленных предприятиях.

Научная новизна работы

1) новизна СОП заключается в том, что впервые предложена систематизированная теория принятия решений в сфере обеспечения качества, объединяющая ситуационный анализ, онтологическое моделирование и теоретико-множественный формализм. В отличие от существующих подходов: нормативного (основанного на жёстких стандартах), PDCA (циклического управления), классического ситуационного (без формальной семантики), а также работ Шведина (онтологии для проектирования), Скобелева (мультиагентные системы) и Удальцовой (семантический анализ), СОП обеспечивает сквозную согласованность решений между уровнями принятия решений за счёт формализованных переходов через механизм множественных отображений, дифференцированную обработку ситуаций благодаря введённой таксономии (типовые, нетиповые, кросс-уровневые), привязку к производственному контексту через дискретизацию ситуаций на основе теории расписаний, адаптацию к неопределённости за счёт интеграции нечёткой логики и машинного обучения для анализа сложных зависимостей между параметрами, критериями и внешними условиями, динамическое управление качеством через адаптацию цикла PDCA к условиям непрерывного потока данных и цифрового следа;

2) новизна методов проектирования адаптивных инструментов для интеграции данных и знаний, заключается в том, что впервые предложена модульная архитектура с динамической заменой компонентов без остановки системы, метод выбора ИИ-алгоритма по типу ситуации через многокритериальную оценку, гибридная подсистема обработки данных, адаптированный нечёткий вывод с онтологической интерпретацией функций принадлежности и механизм кросс-уровневого согласования онтологий через трёхуровневую верификацию. В отличие от прецедентных моделей (статичные базы знаний), чистого машинного обучения («чёрные ящики») и нечёткой логики (без онтологической привязки), они обеспечивают согласованность, объяснимость и устойчивость к неопределённости в условиях промышленного производства;

3) новизна разработанной методологии ИППР заключается в первом применении СОП для обеспечения качества в промышленности. В отличие от экспертных систем (ручное обновление знаний) и классических СППР (фокус на одном уровне), методология впервые обеспечивает сквозную согласованность

решений на уровнях продукта, процесса и системы за счёт самообучающейся модели на основе цифрового следа, многоуровневой иерархической модели управления и двунаправленной интеграции с ERP-системами;

4) новизна комплексного метода интеграции СОП-моделей заключается в реализации двунаправленного преобразования между OWL-онтологиями, этими моделями и нормативными документами. В отличие от классического онтологического моделирования (односторонняя экспортная модель), данный метод обеспечивает строгое согласование действий на всех уровнях управления и минимизирует противоречия при интеграции знаний за счёт трёхуровневой верификации и механизмов поддержания актуальности;

5) новизна методики оценки эффективности методологии ИППР заключается в первом применении нечётких переменных для агрегации показателей и комбинированной оценке количественных и качественных данных. В отличие от многокритериального анализа (точные данные), экспертного анализа (субъективность) и квалиметрии (фиксированные шкалы), предложенная методика снижает субъективность оценок за счёт интеграции апостериорного, измерительно-прогнозного и оценочно-субъективного методов.

Количественная оценка эффективности предложенных результатов, подтверждающая научную новизну и практическую значимость, приведена в п.п. 1-5 Заключения диссертации и основана на метриках, разработанных в рамках системного анализа и методики оценки эффективности методологии поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества.

Теоретическая и практическая значимость результатов работы

Теоретическая значимость работы заключается в разработке и обосновании СОП к поддержке принятия решений в сфере обеспечения качества промышленных предприятий. Впервые предложена интеграция ТММ ситуаций, решений и сценариев с онтологическим моделированием на языке OWL, что обеспечивает системность анализа и формализацию знаний на уровнях продукта, процесса и системы. Разработаны теоретико-множественные модели классификации решений и формализации правил. Предложен метод кросс-уровневого согласования онтологий и Трёхуровневая проверка (синтаксис-семантика-прагматика), расширяющие научные основы интеграции знаний. Введены метрики эффективности увязанные с результатами исследования, обеспечивающие количественную оценку объяснимости, согласованности и воспроизводимости выводов. Они способствуют развитию теории поддержки принятия решений, увязывая ситуационный анализ, онтологии и системный подход.

Практическая значимость определяется возможностью использования разработанной методологии ИППР на промышленных предприятиях и в проектных организациях. Методология даёт рост качества управления за счёт автоматизации анализа нетиповых и кросс-уровневых ситуаций, уменьшения ошибок интерпретации нормативов и снижения времени реакции на проблемы. Реализованная модульная архитектура СППР даёт возможность адаптировать систему под специфику предметной области. Метод ДНП OWL ↔ СОП и интеграция с ERP-системами поддерживают соответствие нормативным требованиям и устойчивость к изменениям. А метод автоматической генерации

документации и поддержание её актуальности позволяет сокращать трудозатраты. Наконец, использование цифрового следа и самообучения модели способствуют непрерывному улучшению показателей системы. Результаты апробированы на промышленных предприятиях и в проектных фирмах, что подтверждено актами внедрения. Методология применима при внедрении ERP, реинжиниринге бизнес-процессов и обеспечении соответствия требованиям ГОСТ, что повышает экономическую эффективность и конкурентоспособность организаций.

Результаты исследования внедрены в организациях.

Методология и методы исследования:

– методы системного анализа применялись для декомпозиции процессов обеспечения качества и выявления кросс-уровневых разрывов между продуктом, процессом и системой;

– ситуационное и онтологическое моделирование легли в основу разработки СОП, обеспечив формализацию знаний и семантическую интероперабельность на всех уровнях управления;

– математическое моделирование и теоретико-множественный формализм использовались для описания ситуаций, решений и сценариев, а также для разработки механизмов согласования и выбора алгоритмов;

– методы нечёткой логики и машинного обучения применялись для обработки неопределённых данных и повышения точности выводов в нетиповых ситуациях;

– теория принятия решений легла в основу разработки гибридных ИИ-подходов, выбора критериев и оценки эффективности.

Соответствие паспорту научной специальности. Работа соответствует п.п. 1, 2, 4, 5, 8, 10, 11, 13 паспорта специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» (см. табл. 1 диссертации).

Положения, выносимые на защиту:

1) методологические основы ситуационно-онтологического подхода для формализации взаимодействия уровней управления (продукт, процесс, система);

2) методы проектирования адаптивных инструментов;

3) методология поддержки принятия решений на основе ситуационно-онтологического подхода, включая методы проектирования адаптивных инструментов, включающая как методы по п. 2, так и модель модульной архитектуры СППР и методы интеллектуальной поддержки принятия решений, ориентированные на управление кросс-уровневыми ситуациями;

4) комплексный метод интеграции ситуационно-онтологических моделей в бизнес-процессы предприятия;

5) методика оценки эффективности оценки эффективности методологии ИППР в сфере обеспечения качества на промышленных предприятиях.

Реализация и внедрение результатов исследования

Результаты работы внедрены и активно используются в учебном процессе ФГБОУ ВО УУНиТ, а также на предприятиях различной направленности: ПАО «УМПО», ОАО «АЙПЛ Консалтинг» и ООО «Газпромнефть – Цифровые решения».

Степень достоверности и апробация работы

Изложенные в диссертационном исследовании положения, выводы и рекомендации являются достоверными, что обеспечивается корректностью использования признанных методов разработки систем поддержки принятия решений. Выполненные автором эксперименты с применением разработанной СППР при обеспечении качества на промышленном предприятии подтверждают работоспособность предложенных методов. Обоснованность разработанных моделей, методов и алгоритмов поддержки принятия решений подтверждена исследованиями, проведенными на реальных данных, что подтверждается актами внедрения.

Основные результаты диссертации и материалы исследования обсуждались на следующих конференциях: международных конференциях ITIDS, Уфа, Россия (2014, 2018, 2021); международной научно-технической конференции DSPTech (2015), Уфа, Россия; международной научно-практической конференции ИНФОРИНО (2016), Москва, Россия; международном семинаре «Критические инфраструктуры: управление в чрезвычайных ситуациях, интеллектуальные, агентные, облачные вычисления и кибербезопасность» (IWCI) (2019), Иркутск, Россия; международной научно-технической конференции «Мавлютовские чтения», Уфа, Россия (2021); заседании Башкирского отделения Научного Совета РАН по методологии искусственного интеллекта, Уфа, Россия (2023, 2024).

Связь исследований с научными программами. Исследование выполнялось при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках основной части государственного задания высшим учебным заведениям № FEUE-2020-0007 и FEUE-2023-0007 и действующей № FRRR-2026-0006.

Личный вклад соискателя

Все исследования, результаты которых изложены в диссертации, получены лично соискателем в процессе научных исследований и экспериментов. Из совместных публикаций в диссертацию включен только тот материал, который непосредственно принадлежит соискателю.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 44 основных научных работ, в том числе 15 статей в рецензируемых печатных изданиях из перечня, утвержденного ВАК (6 изданий – К1, из них 4 изданий, входит в перечень RSCI, 4 статьи опубликованы автором единолично, 7 изданий – К2); 5 свидетельств о государственной регистрации программ и баз данных для ЭВМ, 2 монографии.

Структура и объем диссертации

Объем диссертационной работы составляет 1 страниц, включая 50 рисунков и 108 таблиц (без учёта рисунков и таблиц приложений). Работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений, глоссария, включающего 33 термина, списка использованных источников, включающего 261 наименования, в дополнение к работе приводятся 9 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении содержит обоснование актуальности темы, формулировку цели и задач исследования, основные положения, выносимые на защиту, определяет научную новизну, практическую значимость, содержание и методы выполнения работы.

Первая глава посвящена системному анализу проблем обеспечения качества в условиях цифровой трансформации. Установлено, что обеспечение качества представляет собой многоуровневую систему (**продукт, процесс и система**), эффективность которой определяется согласованностью решений между уровнями. На практике согласованность нарушается из-за информационных разрывов, что повышает риски и снижает эффективность принятия решений.

Уточнено понятие «обеспечение качества» как динамического, адаптивного процесса, интегрирующего данные, знания и нормативы. Ключевую роль играет ситуационный анализ, учитывающий контекст принятия решений. В работе впервые предложена таксономия ситуаций – **типовые, нетиповые и кросс-уровневые** (см. рисунок 1), как основа для адаптивной интеллектуальной поддержки принятия решений (ИППР).

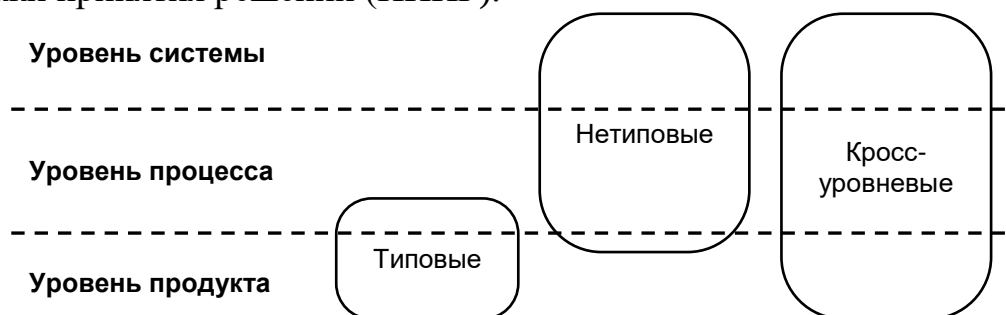


Рисунок 1 Визуализация ситуаций во взаимосвязи с уровнями управления

Показано, что традиционные подходы (ISO 9000, PDCA) не обеспечивают адаптивности, объяснимости и оперативности в нетиповых и кросс-уровневых ситуациях. На основе анализа систематизированы четыре системных барьера: несогласованность, неопределённость, необъяснимость и неактуальность. Во второй части главы проводится анализ различных методов принятия решений: от нормативных до гибридных подходов ИИ. Ни один из них не преодолевает одновременно все четыре барьера. Особое внимание уделено адаптивным интеллектуальным методам, таким как нечёткая логика, машинное обучение и гибридные модели, которые позволяют работать с неопределенностью и неполными данными. Обоснована необходимость интеграции ситуационного анализа и онтологического моделирования, что легло в основу ситуационно-онтологического подхода (СОП). На основе анализа выполнена детализированная постановка задач исследования.

Таким образом, первая глава впервые систематизировала проблемы связанные с обеспечением качества через призму кросс-уровневых взаимодействий и типов ситуаций, заложив теоретико-методологическую основу для разработки СОП.

Вторая глава посвящена разработке методологических основ СОП к поддержке принятия решений в сфере обеспечения качества на промышленном предприятии.

Подход формализует процесс принятия решений в момент времени t на основе теоретико-множественного определения онтологии предприятия: $O = \langle C, R, F \rangle$, где C – конечное множество концептов (понятий), R – конечное множество отношений между ними, F – конечное множество функций интерпретации, заданных на концептах и/или отношениях онтологии O , вводя конечное множество ситуаций $S \subset C$, содержащее наименования ситуаций на шаге в бизнес-процессе, на котором принимаются решения (например, «несоответствие продукции», «отказ оборудования»). Поскольку множество ситуаций S представляет собой номинативную шкалу с ограниченными аналитическими возможностями, для сохранения семантической полноты введены следующие множества:

- множество характеристик ситуации $Ch^S \subset C$, содержащее характеристики, которые позволяют в каком-либо аспекте описать ситуацию;
- множество мер характеристик ситуации $L^S \subset C$, содержащее количественные или качественные оценки, позволяющие отличать ситуации друг от друга;
- множество (функций) выбора (идентификации) ситуации $Cr^S \subset C$, содержащее функции, с помощью которых, на основе множеств Ch^S и L^S осуществляется выбор (идентификация) соответствующей ситуации из S ;
- множество оценок $E^S \subset C$, содержащее качественные или количественные оценки того, насколько результативными оказались ранее предпринятые меры по идентификации ситуации.

На основании данных множеств конкретная ситуация $s_i \in S$ определяется как кортеж $S = \langle Ch^S, L^S, Cr^S, E^S \rangle$.

Для интеграции в производственную среду динамическая модель ситуации трансформируется в дискретную статическую модель. На основе теории расписаний, как раздела дискретной математики, процесс выполнения работ $J = \{J_1, \dots, J_N\}$ с характеристиками длительности $V = \{V_1, \dots, V_M\}$ на множестве рабочих центров $M = \{M_1, \dots, M_K\}$ позволяет определить множество состояний J , заданных в обстоятельствах времени V и места M (см. рисунок 2).

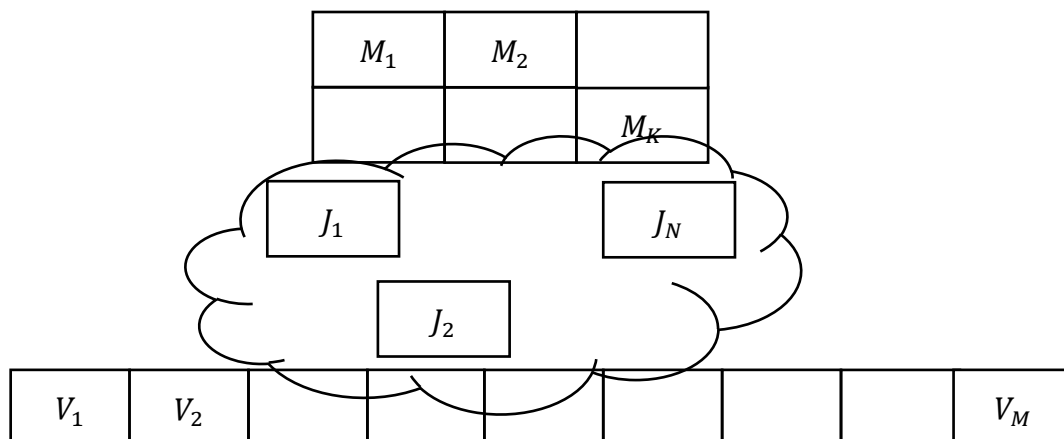


Рисунок 2 Интеграция работ, интервалов времени и рабочих центров

В условиях дискретного производства единиц времени, определяющей оперативность работ по качеству, выбрана **рабочая смена**. Введены множества:

V – множество рабочих смен;

M – множество участков;

$T = V \times M$ – множество перестановок, представляющих рабочие смены на различных участках.

Поскольку ситуация может включать несколько вариантов решений, то используя подход, описанный выше, введено **множество решений** (целевых состояний ситуации) $D^S \subset C$, содержащее описания решений для множества ситуаций S . Каждой точке принятия решений поставлено в соответствие множество вариантов решений, т.е. S является общей категорией для D^S . По аналогии с ранее показанными введены компоненты:

– множество характеристик решений $Ch^{DS} \subset C$, содержащее описания характеристик возможных вариантов решений.

– множество мер характеристик решения $L^{DS} \subset C$, содержащее количественные или качественные оценки, позволяющие отличать решения друг от друга.

– множество критериев (функций) выбора вариантов решения $Cr^{DS} \subset C$, содержащее функции, с помощью которых, на основе множеств Ch^{DS} и L^{DS} осуществляется отбор варианта решения из множества D^S .

– множество оценок $E^{DS} \subset C$, содержащее качественные или количественные оценки того, насколько результативными оказались принятые решения.

Конкретное решение $d_j^S \in D^S$ определяется: $D^S = \langle Ch^{DS}, L^{DS}, Cr^{DS}, E^{DS} \rangle$.

Далее аналогичным образом вводится **множество сценариев** решения $P^{DS} \subset C$, содержащее сценарии реализации решений, отобранных из множества решений D^S , возможных для множества ситуаций S :

– множество характеристик сценариев $Ch^{PDS} \subset C$, содержащее описание характеристик планов реализации принятых решений;

– множество мер характеристик сценария $L^{PDS} \subset C$, содержащее количественные или качественные оценки, позволяющие отличать сценарии друг от друга;

– множество критериев (функций) выбора сценария реализации решения $Cr^{PDS} \subset C$, содержащее функции, с помощью которых, на основе множеств Ch^{PDS} и L^{PDS} осуществляется выбор сценария из множества P^{DS} ;

– множество оценок $E^{PDS} \subset C$, содержащее качественные или количественные оценки того, насколько результативен оказался выбор сценария решения.

Конкретный сценарий $p_k^{DS} \in P^{DS} - P^{DS} = \langle Ch^{PDS}, L^{PDS}, Cr^{PDS}, E^{PDS} \rangle$.

Процесс принятия решений строго детерминирован и выполняется в последовательности: идентификация **ситуации** $\rightarrow$ выбор **решения** $\rightarrow$ формирование **сценария** реализации. Такая цепочка отражает структурную взаимосвязь компонентов через отношение обобщения $S \supset D^S \supset P^{DS}$.

Если интерпретировать предложенный функционал для практической деятельности, то его можно представить следующей схемой (см. рисунок 3).

На основе данной структуры разработан метод **формализации правил принятия решений**, обеспечивающий строгую логику выбора действий в зависимости от типа ситуации: типовые, нетиповые и кросс-уровневые.

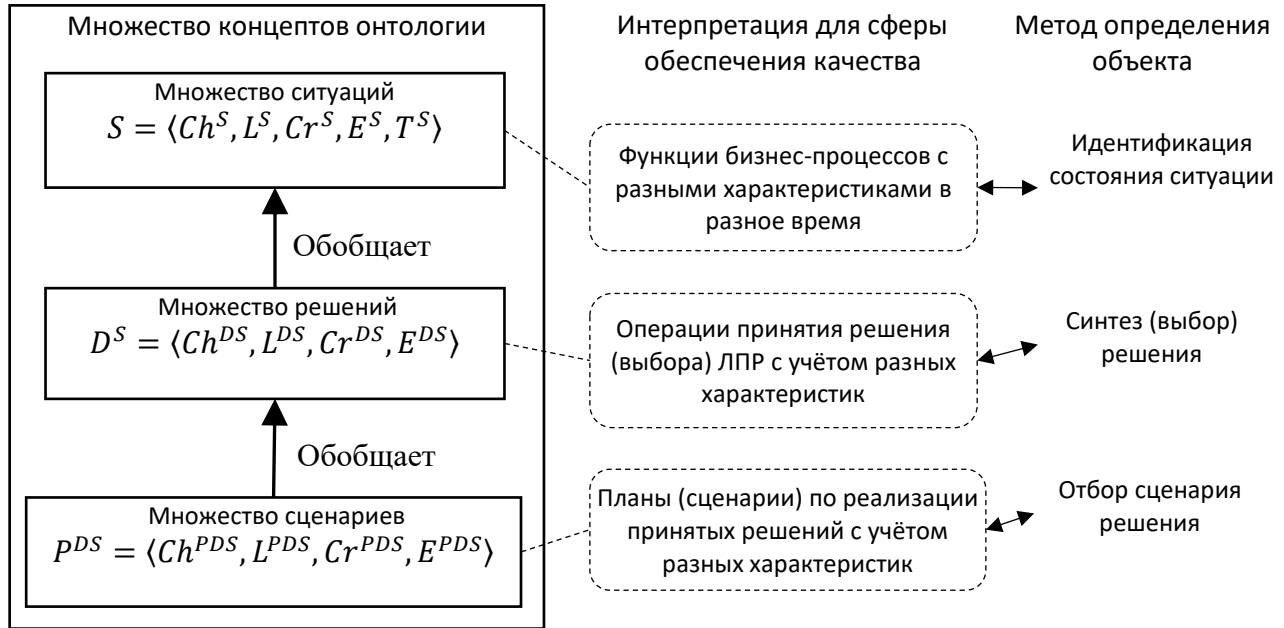


Рисунок 3 Отношения между множествами концептов онтологии, построенной для процесса принятия решений

Каждая конкретная ситуация $s_i \in S$ может быть представлена как тройка $s_i = (Ch^S, L^S, Cr^S)$, где $ch_i^S \subseteq Ch^S$ – подмножество характеристик данной ситуации; $l_i^S \subseteq L^S$ – подмножество мер для этих характеристик; $cr_i^S \subseteq Cr^S$ – подмножество правил для классификации этой ситуации.

Аналогично для решений ($d_j^S \in D^S$) и сценариев ($p_l^{DS} \in P^{DS}$).

Для описания порядка идентификации ситуации (формирование правила $cr_i^S \in Cr^S$) определено соотношение между характеристиками и их мерами $cr_i^S: (ch_i^S, l_i^S) \rightarrow s_k$, где ch_i^S – характеристики текущей ситуации, l_i^S – меры этих характеристик, а $s_k \in S$ – конкретный класс ситуации.

Ситуации могут быть разных типов, что должно быть учтено при описании правил, поэтому для каждого типа ситуации на основе функции принадлежности μ сформированы способы выбора решения, что показано в таблице 1.

Таблица 1 Выражения для выбора решения в разных ситуациях

Тип ситуации	Условие	Формула
Типовая	$\mu(s) \approx 0$	$d_{auto}^S = f_{SR}(s_i)$, где f_{SR} – жесткое правило «ЕСЛИ-ТО», а s_i – конкретная ситуация
Нетиповая	$\mu(s) > \varepsilon, \varepsilon \approx 0.3$	$d_{fuzzy}^S = \arg \max_{d \in D^S} \sum_{i=1}^n \mu(ch_i^S) l_i^S w_i$, где: $\mu(ch_i^S)$ – степень принадлежности характеристики $ch_i^S \in Ch^S$ нечёткому множеству, $l_i^S \in L^S$ – мера этой характеристики, w_i – её вес
Кросс-уровневая	Влияние на > 1 уровень управления	$d_{cross}^S = \bigcup_{u \in U} f_u(s)$, где U – множество уровней управления (продукт, процесс, система)

Тип ситуации определяет способ выбора решения: от жёстких правил в типовых до сложных гибридных алгоритмов в кросс-уровневых.

Для классификации ситуаций предложено 4 класса решений по уровню неопределённости при принятии решений:

1. **Автоматические решения** принимаются в условиях полной определённости.

Все элементы множеств S, D^S, P^{DS} известны и зафиксированы. Тогда для конкретного решения $i^e \in I^e$ это можно представить следующим образом:

- только автоматическая идентификация ситуации;
- только автоматический синтез подмножества решений;
- только автоматический отбор для подмножества сценариев;

Пример: выбор действия по правилу «ЕСЛИ температура $> 80^\circ\text{C}$ ТО активировать охлаждение».

2. **Однотактные решения** требуют идентификация только одной из составляющих: ситуации, решения или сценария. В рамках предложенной теоретико-множественной модели СОП все варианты однотактных решений могут быть описаны единой структурой, в которой для решения $i^e \in I^e$:

$$i^e = \langle V_1, V_2, V_3 \rangle = \begin{cases} V_1 \in \{S, D^S, P^{DS}\}, \text{ где } |V_1| \geq 2, \\ V_2, V_3 = 0 \end{cases}.$$

В данном выражении V_1, V_2, V_3 – компоненты модели принятия решений, в которых выполняется либо идентификация ситуации ($V_1 = S$), либо синтез алгоритма решения ($V_1 = D^S$), либо отбор сценария ($V_1 = P^{DS}$).

Пример: если ситуация $s_i \in S$ известна, но требуется выбрать между несколькими решениями $d_j^S \in D^S$.

3. **Двухтактные решения** предполагают идентификацию и выбор одновременно двух компонентов: ситуации и решения или решения и сценария или ситуации и сценария. В рамках теоретико-множественной модели СОП все варианты двухтактных решений могут быть описаны единой структурой:

$$i^e = \langle V_1, V_2, V_3 \rangle = \begin{cases} V_1, V_2 \in \{S, D^S, P^{DS}\}, \text{ где } |V_1|, |V_2| \geq 2, \\ V_3 = 0 \end{cases}.$$

Пример: $s_i \in S$ и $d_j^S \in D^S$ известны, но требуется определить $p_l^{DS} \in P^{DS}$

4. **Трёхтактные решения** предполагают полный цикл: идентификация ситуации $\rightarrow$ выбор решения $\rightarrow$ выбор сценария. В данном случае выбор осуществляется по всем множествам, т.е. для s_i выбрать решение d_j^S и для его реализации сценарий p_l^{DS} , т.е. для конкретного решения $i^e \in I^e$:

$$i^e = \begin{cases} s_i \in S, \text{ где } i \in \{1, \dots, n\}, \text{ где } n \geq 2, \\ d_j^S \in D^S, \text{ где } j \in \{1, \dots, m\}, m \geq 2, \\ p_l^{DS} \in P^{DS}, \text{ где } l \in \{1, \dots, k\}, \text{ где } k \geq 2. \end{cases}$$

Предложенная таксономия обеспечивает точное соответствие между сложностью ситуации и глубиной вмешательства ИИ-методов.

Для повышения объективности оценки решений в условиях неопределённости разработан **метод анализа причинно-следственных связей** (ПСС), формализующий влияние характеристик ситуации Ch^S на выбор решения D^S и его последствия E^S в рамках теоретико-множественной модели СОП. Метод обобщает классические подходы (например, диаграмму Исикавы) через

онтологическую структуру и вводит иерархическую оценку значимости характеристик на основе весовых коэффициентов, получаемых по аналогии с методом Саати, что позволяет количественно учитывать вклад каждого фактора при переходе от идентификации ситуации к принятию решения и формированию сценария его реализации. Впервые в рамках единой модели обеспечена сквозная оценка результативности на всех трёх уровнях: идентификации, принятия решения и реализации сценария.

В работе используются четыре типа онтологий: предприятия, ситуации, нормативных документов и причинно-следственных связей

Для объективной верификации эффективности СОП разработана **система количественных метрик**, непосредственно привязанная к четырём системным барьерам, выявленным в первой главе. По барьеру несогласованности оцениваются: коэффициент согласованности решений K^{agr} и скорость принятия решений V^{DM} . По барьеру неопределённости – точность идентификации ситуации IA , воспроизводимость решения RPR и снижение ошибок интерпретации ΔE . По барьеру необъяснимости – доля объяснимых решений XAI и время автоматического документирования T^{doc} . По барьеру неактуальности – актуальность вывода V^{akt} , коэффициент релевантности знаний K^{rel} и изменение объёма знаний ΔK . Качественное и количественное сравнение с известными методами (прецедентные системы, машинное обучение, нечёткая логика, байесовские сети и др.) показало, что СОП превосходит аналоги по всем ключевым метрикам, демонстрируя высокую степень соответствия требованиям современного промышленного управления качеством.

Таким образом, предложенные методологические основы СОП задают унифицированную теоретико-множественную модель, обеспечивающую системность за счёт единой структуры на всех уровнях управления, воспроизводимость благодаря формализованной цепочке $S \rightarrow D^S \rightarrow P^{DS}$, адаптивность через выбор метода под тип ситуации и объяснимость через интерпретацию характеристик и критериев.

В диссертации показано, что СОП позволяет формализовать разнородные методы обеспечения качества: PDCA, диаграмма Ишикавы, FMEA, Kaizen и др. в едином онтологическом аппарате, что подтверждает его универсальность и создаёт основу для автоматизации, интеграции и непрерывного совершенствования процессов принятия решений через цифровой след.

В целом, вторая глава заложила теоретико-методологический фундамент всего исследования, обеспечивая строгую формальную основу для последующей разработки адаптивных инструментов, методологии ИППР и механизмов интеграции.

Третья глава посвящена разработке методов проектирования адаптивных инструментов (модулей) СППР, направленных на преодоление ключевых системных барьеров в управлении качеством: несогласованности решений между уровнями (продукт, процесс, система) и работы с неопределённостью, вызванной неполными, неточными или фрагментированными данными. Основной задачей является создание технической реализации СОП в виде модульной архитектуры, способной динамически адаптировать логику принятия решений под тип ситуации – типовую, нетиповую или кросс-уровневую.

Исследование обеспечивает повышение эффективности, объективности и воспроизводимости решений за счёт формализованного выбора ИИ-алгоритмов, согласованной обработки знаний на всех уровнях принятия решений и устойчивости к условиям высокой неопределённости.

На основе СОП разработана **модульная архитектура СППР** с возможностью динамической адаптации, ориентированная на обеспечение качества продукции на промышленных предприятиях. Архитектура реализует трёхуровневую модель данных, соответствующую уровням управления: продукт, процесс, система, что позволяет согласовать действия между уровнями и повысить объяснимость выводов при использовании гибридных ИИ-подходов. В отличие от традиционных архитектур СППР, предложенная модель поддерживает параллельную обработку задач и динамическую замену инструментов без остановки системы (см. рисунке 4).

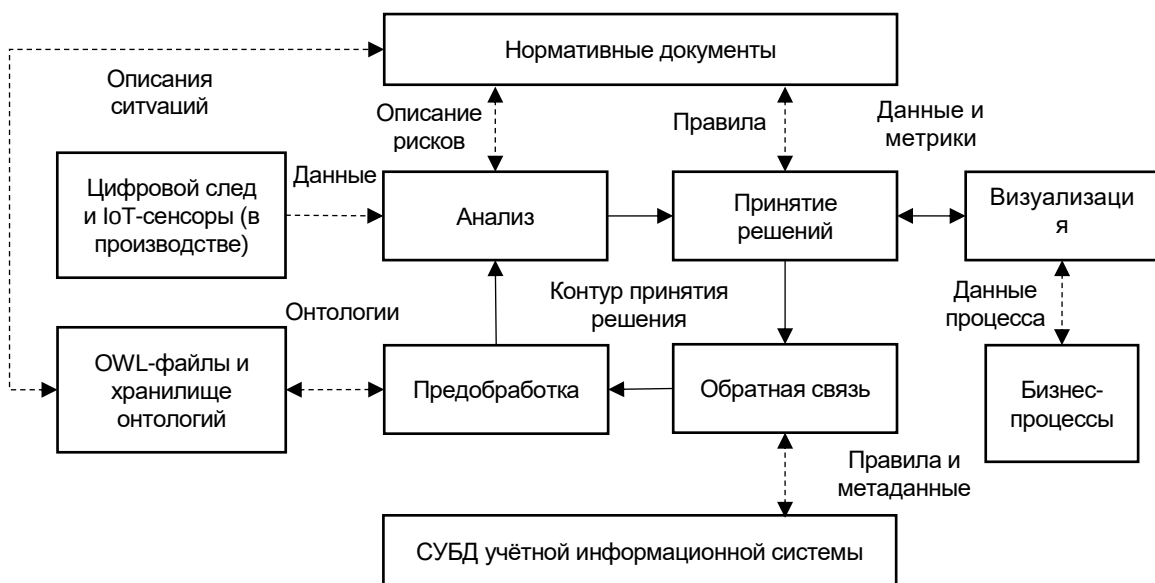


Рисунок 4 Схема взаимодействия модулей СППР обеспечения качества продукции

Центральным элементом является схема взаимодействия модулей СППР (рис. 4), где выделены ключевые компоненты: модуль предобработки онтологической информации обеспечивает преобразование OWL-моделей в формат, пригодный для анализа; модуль анализа данных использует алгоритмы машинного обучения и нечёткой логики для обнаружения аномалий и прогнозирования дефектов; модуль принятия решений выбирает оптимальное действие на основе теоретико-множественного формализма и правил ситуационно-онтологического подхода; механизм обратной связи отслеживает эффективность решения и обновляет модель через цифровой след; модуль визуализации и интерпретации предоставляет результаты в виде графов, диаграмм и текстовых отчётов.

Каждый модуль работает автономно, но связан с другими через API, что обеспечивает параллельную обработку задач, динамическую замену инструментов и устойчивость к изменениям внешней среды и нормативной базы. Для повышения устойчивости и актуальности модели используется механизм обновления модулей СППР, основанный на контейнеризации, версионности и A/B-тестировании.

В отличие от традиционных экспертных систем, адаптивные инструменты позволяют автоматически подстраивать алгоритмы под тип ситуации.

Для решения задач, выходящих за рамки жёстких правил, разработан **метод выбора алгоритма принятия решений в зависимости от типа ситуации**. Предложенный метод опирается на теоретико-множественную модель СИП и является продолжением классификацию ситуаций.

Для выбора наиболее релевантного класса метода принятия решений используется метод многокритериальных взвешенных оценок, позволяющий учитывать специфику предметной области и особенности конкретной ситуации. Метод связан с взвешиванием характеристик методов основан на вычислении итоговой суммы по каждому классу метода по формуле: $SM_j = \sum_{i=1}^n w_i e_{ij}$, где n – число показателей (строк в таблице), w_i – вес показателя в i -й строке, e_{ij} – оценка по показателю i для метода j . Лучшим результатом, который следует выбрать (SM_{best}) будет следующий: $SM_{best} = \max(SM_j)$.

Выбор метода выполняется в два этапа: сначала тип метода (экспертные, аналитические, интеллектуальные) определяется на основе типа ситуации и уровня неопределённости, затем из выбранного класса подбирается конкретный алгоритм (например, для нетиповых ситуаций – нечёткая логика, для кросс-уровневых – многокритериальный анализ с онтологическими мостами).

Таблица критериев и метрик для выбора алгоритмов приведена в табл. 3.11 диссертации.

Для обеспечения согласованности решений между уровнями принятия решений разработан **метод кросс-уровневого согласования онтологий**, основанный на формировании общих онтологических «мостов» и автоматической актуализации знаний через цифровой след. Метод включает:

1. Выявление конфликтов: если $ch_i^S \in Ch^S$ и $ch_j^{DS} \in Ch^{DS}$ противоречат друг другу ($ch_i^S \cap ch_j^{DS} = \emptyset$), то ситуация классифицируется как кросс-уровневая.
2. Согласование через онтологии с использованием OWL-модели для формирования общих концептов-«мостов» между уровнями.
3. Экспертное подтверждение корректности правил Cr^S , Cr^{DS} , Cr^{PDS} .

Метод позволяет минимизировать дисбаланс между уровнями. Введён коэффициент согласованности вывода K^{agr} , как индикатор качества знаний в модели.

В рамках модульной архитектуры, как один из элементов, разработана **интеллектуальная подсистема СППР**, ориентированная на обработку типовых, нетиповых и кросс-уровневых ситуаций, реализующая гибридные методы, сочетающие машинное обучение для анализа данных и нечёткую логику для интерпретации выводов, а также цифровой след как источник информации для последующей актуализации модели.

Подсистема обработки данных обеспечивает автоматизацию анализа типовых и нетиповых ситуаций через гибридные методы ИИ. Формально эта подсистема (IS^{data}) может быть представлена как $IS^{data} = \langle D^S, F^{ML}, F^{Fuz}, Df \rangle$, где: D^S – множество решений; F^{ML} – алгоритмы машинного обучения; F^{Fuz} – методы нечёткой логики; Df – методы цифрового следа.

Механизм работы подсистемы обобщённо можно представить так:

- на вход поступают данные о текущей ситуации из ERP/MES-систем, нормативных документов и, при необходимости, предварительно обрабатываются в соответствующем модуле;

- данные классифицируются на основе типа ситуации: в типовой ситуации применяются жёсткие правила и статистические методы, в нетиповой – используется нечёткая логика (например, метод Токаги-Сугено), в кросс-уровневой – методы согласования уровней и гибридные методы, объединяющие нечёткую логику и машинное обучение (модуль анализа);

- выбор оптимального метода осуществляется с помощью многокритериальной оценки (модуль анализа);

- решение формируется через онтологическую модель ситуации СОП (модуль принятия решений) и переводится в понятную форму с использованием текстовых отчётов и графической визуализации, что транслируется через модуль визуализации пользователю;

- результаты через модуль обратной связи сохраняются в базе знаний.

Актуализация знаний формализована через теоретико-множественные операции над компонентами и правилами, что обеспечивает воспроизводимость и строгую семантику обновлений. Таким образом, интеллектуальная подсистема обеспечивает устойчивость к неопределённости данных и согласованность решений между уровнями управления.

Важнейшую проблему при принятии решений в сфере обеспечения качества представляет неопределённость, выражающаяся в неполных, нечётких или вызывающих сомнения в достоверности данных, которые есть у ЛПР для принятия решений. Для работы с нетиповыми и кросс-уровневыми ситуациями, характеризующимися высокой степенью неопределённости ($\mu(s) > 0.3$), был разработан **адаптированный метод нечёткого вывода**, основанный на интеграции онтологических моделей, лингвистических переменных и динамической настройке функций принадлежности в зависимости от типа ситуации. Адаптированный метод нечёткого вывода интегрирует онтологические характеристики в лингвистические переменные и динамически настраивает функции принадлежности, обеспечивая объяснимый переход от неопределённых данных к чётким решениям.

Таким образом, третья глава завершает этап технической реализации СОП, предоставляя набор методов проектирования адаптивных инструментов СППР. В отличие от традиционных СППР, использующих фиксированные архитектуры и изолированные ИИ-методы, предложенный подход впервые обеспечивает динамическую адаптацию инструментов под тип ситуации в рамках единой модульной системы, сочетающей онтологическую строгость и гибкость гибридных ИИ-методов.

Результаты главы 3 легли в основу разработанной в главе 4 методологии ИППР и являются ключевой частью СОП. Предложенные методы обеспечивают адаптацию к изменяющимся условиям, повышают объективность и точность решений, а также позволяют интегрировать знания из различных источников в единую систему.

В четвертой главе на основе СОП разработана методология интеллектуальной поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества,

опирающаяся на гибридные методы ИИ для анализа данных, сочетающие нечёткую логику и машинное обучение, адаптированный метод цифрового следа, обеспечивающий автоматическое пополнение и коррекцию модели на основе реальных данных о принятых решениях.

Для перевода теоретических положений СОП в промышленную практику разработан метод его применения, который формализует анализ ситуаций через модель $S = \langle Ch^S, L^S, Cr^S, E^S \rangle$, обеспечивает выбор решения через $D^S = \langle Ch^{DS}, L^{DS}, Cr^{DS}, E^{DS} \rangle$, реализует сценарный вывод через $P^{DS} = \langle Ch^{PDS}, L^{PDS}, Cr^{PDS}, E^{PDS} \rangle$ и интегрируется с цифровым следом Df для актуализации знаний и правил.

СОП к поддержке принятия решений в сфере обеспечения качества объединяет формализацию знаний, анализ данных и адаптацию к уровням управления.

В отличие от традиционных подходов, ориентированных на фиксированные сценарии или изолированное применение ИИ, методология ИППР впервые объединяет онтологическую строгость, адаптивность к типам ситуаций и механизм самообучения в единую СППР, что ранее не было реализовано для обеспечения качества. Реализация описанных шагов представлена на рисунке 5.

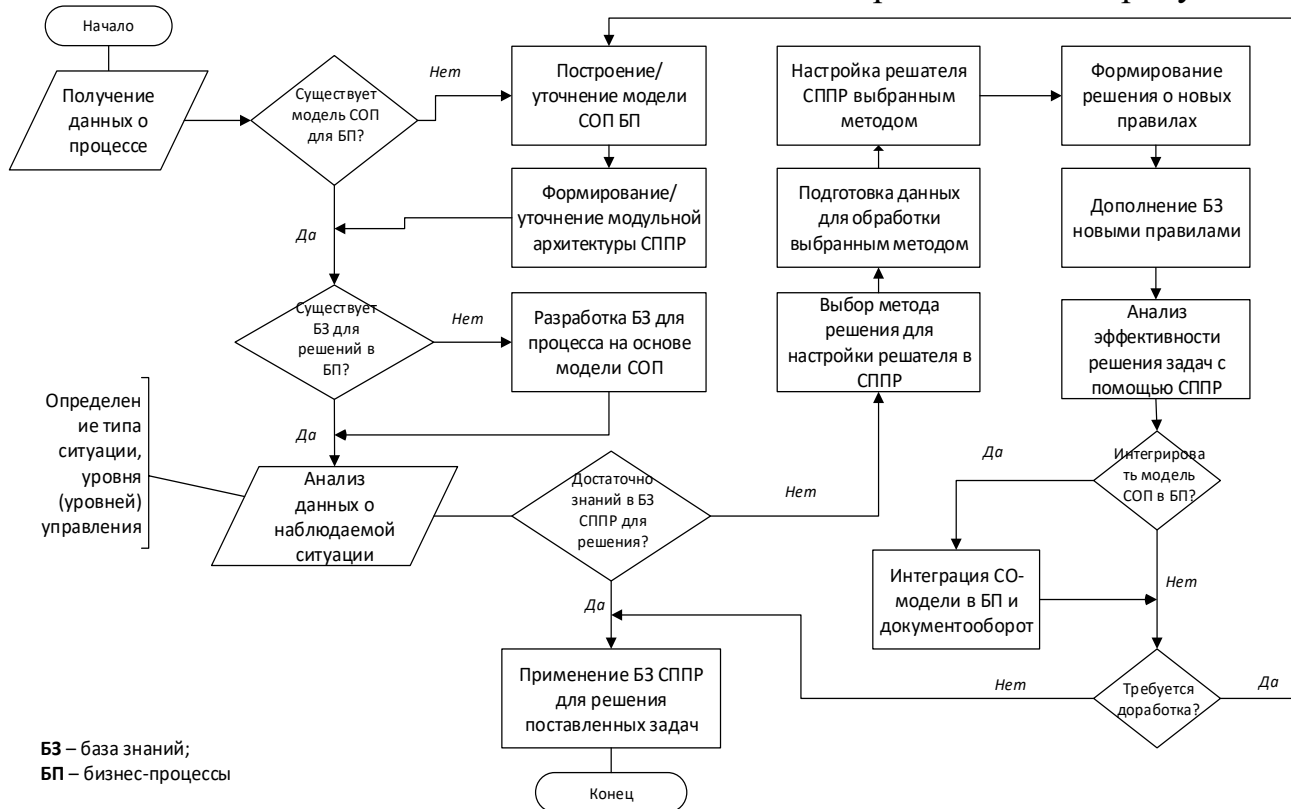


Рис.5 Алгоритм применения СОП для поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества промышленных предприятий

Для принятия решений, особенно, в нетиповых ситуациях большую роль играет объяснимость выводов, которые получены автоматически. Для повышения доверия к системе и обеспечения её практической применимости на основе лингвистических переменных разработан **метод визуализации ПСС**, предназначенный для повышения объяснимости выводов интеллектуальной системы. Метод включает нормализацию входных параметров, выбор термов из

заранее определённых множеств (например, «низкий», «средний», «высокий»), построение графиков функций принадлежности и формирование схемы взаимосвязей между параметрами и решением. Дополнительно реализован алгоритм генерации текстовых объяснений, который на основе анализа ситуации и соответствующих правил формирует выводы на естественном языке.

Особое внимание уделено повышению объяснимости решений за счёт разработки ролевых интерфейсов, адаптирующих вывод СППР под уровень компетенций пользователя от оператора до руководства. Для каждой роли формируется свой тип визуализации и логики объяснения: от жёстких правил на уровне продукта до прогнозов и причинно-следственных графов на уровне системы. Решения документируются в структурированном виде через цифровой след, включающий ситуацию, выбранное правило, результат и оценку эффективности, что обеспечивает воспроизводимость, поддерживает самообучение системы и позволяет количественно оценивать объяснимость по мере накопления опыта.

Обратная связь во многом формируется через цифровой след (множество Df), который представляет собой совокупность записей о ранее принятых решениях, их результатах и контексте применения и используется для пополнения и коррекции базы знаний СППР. При этом $Df = \bigcup_{i=1}^n dt_i$, где dt_i – конкретная запись данных.

Каждая запись цифрового следа dt_i может быть *интерпретирована как конкретная ситуация* s_i , принадлежащая онтологии предприятия O . Таким образом, множество цифрового следа Df можно формализовать как: $Df = \{s_1, \dots, s_n\} \subseteq O$, где $s_i \in S$ – элемент множества ситуаций. При этом каждая ситуация s_i описывается набором характеристик $\{ch_1, \dots, ch_n\}$, соответствующих классам и свойствам онтологии $s_i = \langle S_i^{typ}, Pr_i, V_i \rangle$, где S_i^{typ} – тип ситуации (типовая, нетиповая, кросс-уровневая), Pr_i – множество свойств онтологии, V_i – значения свойств.

Цифровой след можно рассматривать не только как историю событий, но и как *хранилище прецедентов*, что позволяет использовать механизм рассуждений на основе прецедентов (Case-Based Reasoning).

Формально, каждый прецедент $cs_i \in CS$ описывается кортежем: $cs_i = \langle s_j, d_j, r_j, e_j \rangle$, где s_j – описание ситуации, d_j – принятое решение, r_j – результат реализации решения, e_j – экспертная оценка эффективности. Данный подход позволяет при возникновении новой ситуации s_k найти наиболее релевантные прецеденты из множества CS , используя функцию подобия: $sim(s_k, cs_j) \rightarrow \max$, где $sim()$ – мера схожести между текущей ситуацией и прецедентом, основанная на онтологическом расстоянии и значимости характеристик.

Поскольку со временем накопленные в базе знаний исторические данные *могут потерять актуальность*, то полезно их уточнять для сохранения их пригодности. Для этого необходим **механизм корректировки функций принадлежности**: $\mu(ch_i^S) = \mu(ch_i^S)C(Df)$, где $C(Df)$ – поправочный коэффициент, определяемый на основе анализа цифрового следа статистическими методами.

Операции над компонентами (множествами ситуаций, решений, сценариев, характеристик и мер) и правилами базы знаний показаны в таблице 2.

Таблица 2 Операции над компонентами и правилами

Операция	Компоненты (C)	Правила (Cr)
Создание	Если появляется новый элемент $\{c^{new}\} \notin C$, он добавляется в базу через операцию объединения: $C = C \cup \{c^{new}\}$	Формирование новых правил $Cr = Cr \cup \{cr^{new}\}$
Удаление	Если компонент $\{c^{del}\}$ устарел или стал нерелевантным, он удаляется через операцию пересечения: $C = C \cap \{c^{del}\}$	Исключение противоречивых, устаревших или ошибочных правил $Cr = Cr \cap \{c^{del}\}$
Обновление	Замена старых компонентов $\{c^{upd_old}\}$ на новые $\{c^{upd}\}$ выполняется: $C = C \cap \{c^{upd_old}\} \cup \{c^{upd}\}$	Обновление существующего правила (cr^{upd}): $Cr = (Cr \cap \{cr^{upd_old}\}) \cup \{cr^{upd}\}$

Благодаря описанным операциям, система способна самообучаться, что реализуется через корректировки функций принадлежности $\mu(ch_i^S)$, а также обеспечивать динамическое обновление модели в зависимости от результатов ранее принятых решений. При этом $\mu(ch_i^S) = \mu(ch_i^S)C(Df)$, где $C(Df)$ – поправочный коэффициент, определяемый на основе анализа цифрового следа статистическими методами. Например, если дефект возникает чаще, чем ожидалось, функция принадлежности «критический» для параметра температуры корректируется в сторону снижения порога, чтобы быстрее активировать контроль.

Для обеспечения обратной связи, решения документируются в виде структурированных записей, включающих: идентификатор ситуации ($s_{ид} \in S$), идентификатор выбранного правила ($cr_{пр} \in Cr$), результат решения ($r_{ид} \in R$), оценку эффективности.

Управление в сфере обеспечения качества в промышленности структурировано по уровням, где доминирующие функции регулирования, адаптации и обучения распределены в зависимости от масштаба решений.

Кросс-уровневые ситуации, такие как изменения норм из-за проблем на уровне продукта или процесса, требуют интеграции данных и знаний со всех уровней управления. Введём обозначения элементов модели (см. таблицу 3).

Таблица 3 Обозначения элементов иерархической модели управления

Элемент	Обозначение	Роль в схеме
Объект управления	ОУ	Качество продукции, процесса или системы
Лица, принимающее решение	ЛПР 1-3	Принятие решений на уровне продукта, процесса, системы
Специалисты разного уровня	Эксперт 1–3	Обновление знаний и правил
Слой взаимодействия	Интерфейс 1–4	Адаптация вывода под уровень и роль
Базы данных	БД 1–3	По уровням: продукт, процесс, система
Интеллектуальная часть СППР	База знаний	Хранение и обновление правил и онтологий
Интеллектуальная подсистема	Решатель	Генерация новых знаний и сценариев
Типы ситуаций	$\Delta 1 - \Delta 3$	Типовая, нетиповая, кросс-уровневая
Запросы экспертов	$Q_1 - Q_3$	Сбор данных для анализа
Данные из хранилищ данных	$K_1 - K_4$	Сбор формализованных данных
Управляющие воздействия	$U_1 - U_4$	Регулирование, адаптация, обучение
Информационные воздействия от объекта управления	$I_1 - I_3$	Результаты, наблюдения, отчётность
Внешние воздействия	$El_1 - El_4$	Влияние на выбор метода и актуализацию модели
Внутреннее информационное воздействие	InI	Связь с цифровым следом

Элемент	Обозначение	Роль в схеме
Критерии правильности решения	$Crit$	Связь с нормативами и стандартами
Результат управления	R	Годная продукция / услуга
Альтернативный результат	R'	Негодная продукция (если включена)

Схема управления процессом информационной поддержки принятия решений представлена на рис. 6.

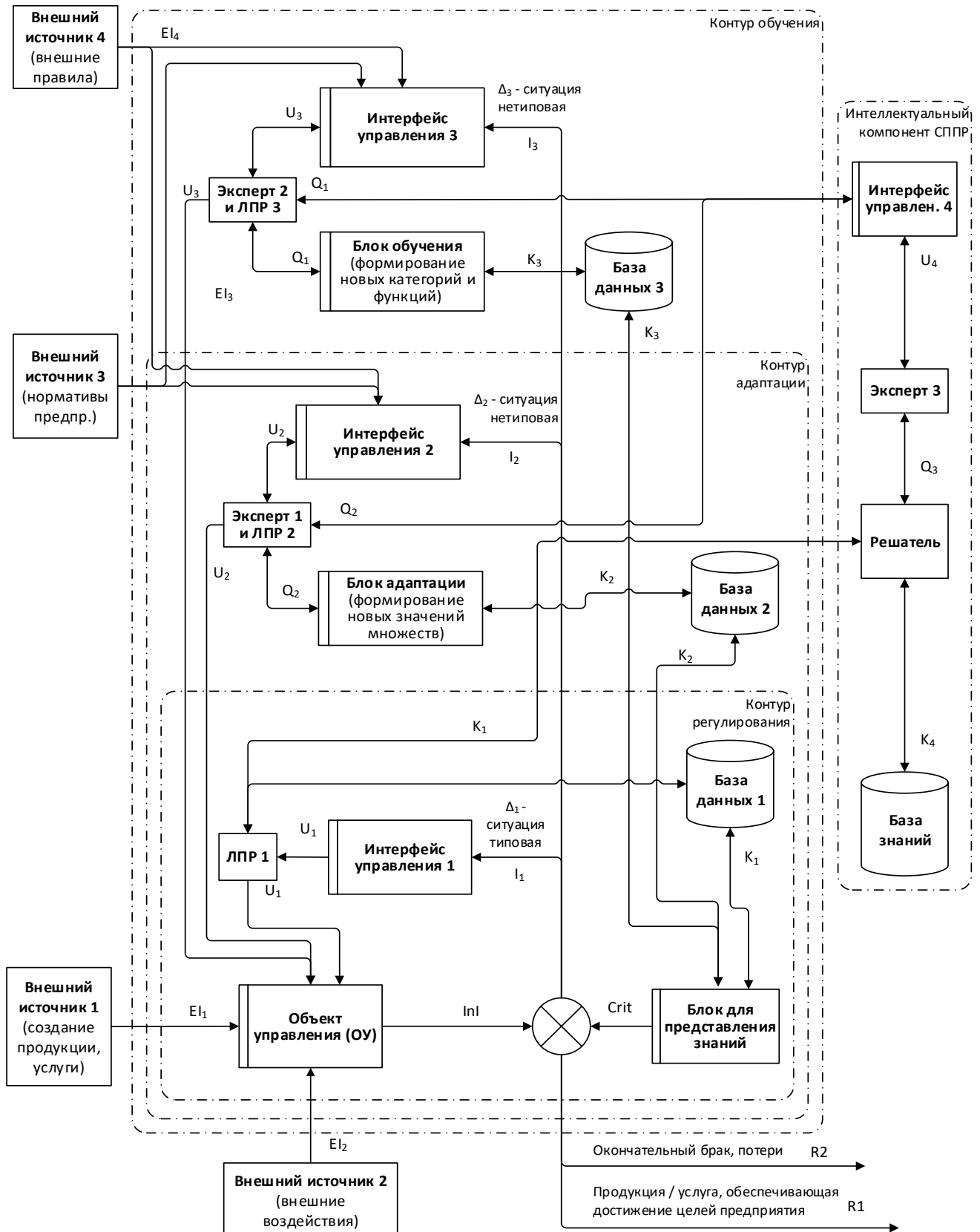


Рисунок 6 Иерархическая модель управления процессом обеспечения качества на основе СПМР

Уровень (контур) управления в исследуемой проблемной области – есть замкнутая, обладающая как прямой, так и обратной связями, схема системы управления. Замкнутость контура управления показывает обязательность принятия решения, даже если оно не поддержано всеми экспертами. Схема управления процессом представлена на рисунке 5. В рамках методологии ИППР объектом управления является информационная поддержка принятия решений при обеспечении качества продукта или услуги (процесса, системы) на основе процесса обработки данных по качеству, которые сведены во множества Ch, L, Cr для категорий S, D^S, P^{DS} . Значимой особенностью иерархической модели управления процессом обеспечения качества является её универсальность для решения задач предметной области с использованием интеллектуальной СППР, т.е. возможность применения на всех уровнях обеспечения качества.

В главе разработана комплексная методика оценки эффективности СППР обеспечения качества на промышленных предприятиях на основе СОП, объединяющая измерительно-прогнозный и оценочно-субъективный подходы, что позволило учесть, как объективные данные, так и мнения заинтересованных сторон. Для измерительно-прогнозного метода определены ключевые показатели, характеризующие уровни технологического развития, качества принимаемых решений и эффективности бизнес-процессов.

Для оценочно-субъективного метода разработана методика формирования интегральной оценки, основанная на свёртке показателей с использованием нечётких переменных и весовых коэффициентов, учитывающих уровень доверия, непредвзятость и компетентность экспертов. Предложенная методика позволяет минимизировать влияние субъективности за счёт стандартизации шкалы (1–10), групповой оценки и ограничения веса отдельного эксперта (не более 25–30%).

На основе интеграции обоих методов разработана комплексная методика оценки эффективности. Алгоритм оценки эффективности представлен на рисунке 7.

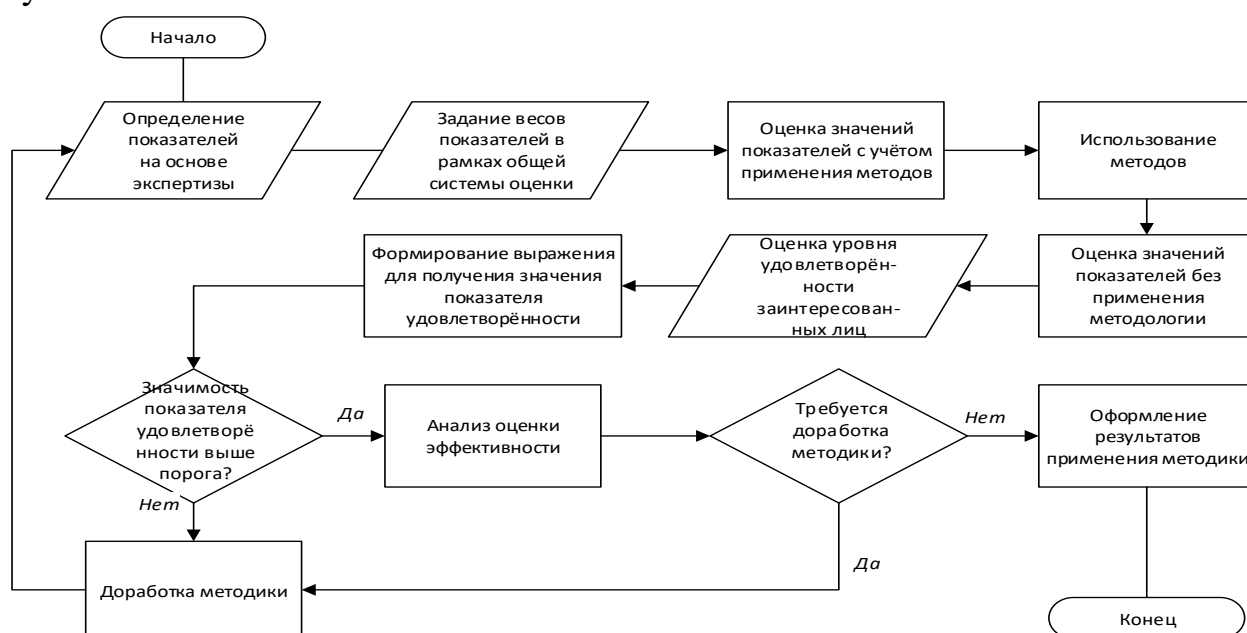


Рисунок 7 Алгоритм оценки эффективности методов поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества на промышленных предприятиях

Комплексная методика оценки эффективности включает формирование системы частных показателей, задание их весов с учётом характеристик экспертов, вычисление интегрального показателя удовлетворённости внедрением СППР.

Методика апробирована при проектировании прототипов СППР для следующих бизнес-процессов: внутренний аудит качества, ремонт возвращённых изделий, определение мер воздействия на несоответствующую продукцию и перезапуск испытаний при отказе.

В главе разработана методология ИППР на основе СОП, объединяющая онтологическое моделирование, адаптивные методы искусственного интеллекта (ИИ) и механизм самообучения через цифровой след. Предложены ролевые интерфейсы, обеспечивающие объяснимость решений за счёт адаптации вывода под уровень компетенций пользователя от оператора до руководства. Реализованы механизмы документирования решений и формирования прецедентов, что обеспечивает воспроизводимость, прозрачность и непрерывное улучшение системы. Разработана комплексная методика оценки эффективности СППР, интегрирующая измерительно-прогнозный и оценочно-субъективный подходы, апробированная на реальных бизнес-процессах.

Четвёртая глава представляет собой методологическое ядро исследования, объединяющее теоретические основы СОП и адаптивные инструменты в практически применимую систему поддержки принятия решений. Она завершает переход от теории (глава 2) и инструментов (глава 3) к целостной методологии, готовой к внедрению.

Таким образом, методология ИППР преодолевает все четыре системных барьера, выявленных в первой главе: обеспечивает согласованность через иерархическую модель, устойчивость к неопределённости через гибридные ИИ-методы, объяснимость через ПСС и ролевые интерфейсы, актуальность знаний через цифровой след и самообучение.

Пятая глава посвящена онтологическим методам, положенным в основу поддержки принятия решений на основе СОП. С этой целью автором разработана методология интеграции ситуационно-онтологической модели или её компонентов в бизнес-процессы и документооборот промышленного предприятия. В рамках методологии разрабатываются методы семантического сопоставления OWL-моделей с нормативными документами (преобразование OWL-модель $\leftrightarrow$ нормативный документ) и преобразования OWL $\leftrightarrow$ ситуационно-онтологическая модель.

В основу подхода положено теоретико-множественное определение онтологии $O = \langle C, R, F \rangle$, благодаря которому онтологическая модель может быть преобразована в теоретико-множественную, а затем в таблицы базы данных, если сформировать формат целевого объекта.

Метод преобразования OWL $\leftrightarrow$ ситуационно-онтологическая модель позволяет преобразовать совокупность понятий на естественном языке, представленных как лингвистические переменные в теоретико-множественную модель СОП (см. рисунке 8).

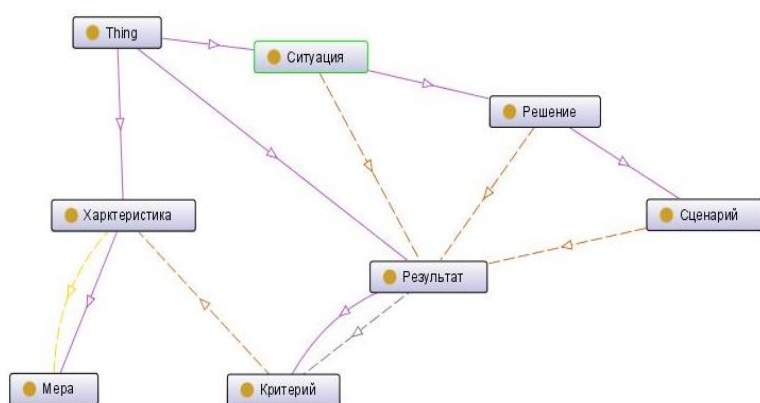


Рисунок 8 Онтология OWL как описание связей ситуации, решения и сценария

В отличие от традиционных способов хранения знаний в базе знаний, данный метод обеспечивает двустороннюю интеграцию и автоматическое обновление онтологий. Онтологические связи представляют собой иерархическую структуру, где каждый уровень описывает объекты, их свойства и взаимодействия, поэтому для их преобразования во

множества нужно выполнить **декомпозицию**, для чего выполняются шаги:

1. Идентификация основных сущностей

На данном этапе выявляются ключевые компоненты предметной области, такие как параметры, процессы, нормативные документы и т.д., *например*, в контексте управления качеством продукта к таким сущностям относятся «параметры изделия», «стандарт, определяющий требования к качеству» и т.д.

2. Формализация отношений между сущностями

После определения базовых сущностей устанавливаются ПСС между ними, которые можно представить в виде множеств правил, которые описывают возможные состояния системы: $R = \{e_i, e_j, r_k\}$, где e_i и e_j – сущности, а r_k – тип отношения между ними. *Например*, правило «если параметр А, то влияние на стандарт В» может быть представлено как (параметр А, стандарт В, влияние).

3. Трансформация связей в множества ситуаций, решений и сценариев

Каждая ситуация, решение или сценарий описывается через соответствующее множество. Ситуации (S) характеризуют текущее состояние системы, решения (D^S) – действия для корректировки этого состояния, а сценарии (P^{DS}) – последовательность шагов для реализации решений. *Например*, ситуация «снижение выхода продукции» может быть преобразована в решение «анализ технологических параметров», которое активирует сценарий «проверка настроенности оборудования».

Алгоритм **преобразования (OWL → СОП)** можно представить, как совокупность шагов:

1. Идентификация связей

Определяются ПСС между сущностями. *Например*, «рост дефектности связан с несоответствием параметров размера».

2. Формализация в множества

Каждое отношение преобразуется в правило. *Например*, правило «если характеристика размер выходит за допуск на 1% или прочность меньше 20 единиц, то ТУ считаются нарушенными» записывается как:

$(Ch_{size} \geq \pm 1\% \ \& \ Ch_{stgth} \geq 20 \text{ед.}) \rightarrow (\text{Несоответствие ТУ}).$

3. Интеграция с нормативами

Правила автоматически связываются с требованиями стандартов.

Разработанная трёхуровневая система верификации обеспечивает комплексную проверку согласованности онтологий и нормативных документов. Синтаксический уровень проверяет формальное соответствие OWL-моделей и XML-схем, семантический – непротиворечивость терминов и связей на уровнях ситуации, решения и сценария, а прагматический оценивает применимость документа к конкретной ситуации через нечёткую меру соответствия в интервале $[0,1]$.

Второй метод позволяет обеспечить связь онтологической модели с действующими нормативными документами, обеспечив тем самым интеграцию ситуационно-онтологической модели в бизнес-процессы предприятия.

Метод семантического сопоставления OWL-моделей с нормативными документами обеспечивает двунаправленную связь между нормативной базой предприятия и СППР, минимизируя разрывы при изменении требований или выявлении новых ситуаций. Возьмём в качестве эталона нормативного документа стандарт и рассмотрим данный метод, отталкиваясь от его структуры.

1. Преобразование стандарта в модель ситуации

Пусть стандарт Z^{Std} представлен множеством требований $R_n = \{r_1, \dots, r_n\}$, где из каждого требования $r_i \in R_n$ методом контент-анализа или лингвистического моделирования (на основе онтологий) можно получить характеристики Ch^{R_n} , меры L^{R_n} , правила Cr^{R_n} . На языке теории множеств данное преобразование можно описать: $Z^{Std} \rightarrow Z^{OWL}: f_{trans}(R_n) = \bigcup_{i=1}^n (ch_i^{R_n}, l_i^{R_n}, cr_i^{R_n})$, где $f_{trans}(R_n)$ – функция преобразования, $ch_i^{R_n} \in Ch^{R_n}$ – характеристика требования r_i , $l_i^{R_n} \in L^{R_n}$ – его мера, $cr_i^{R_n} \in Cr^{R_n}$ – его правило.

Например, если в стандарте указано «Температура должна быть $\leq 80^\circ\text{C}$ », то формируется характеристика ch = «температура», мера $l = [0,80]$ и правило cr = «ЕСЛИ ch В l , ТО норма».

2. Преобразование модели ситуации в стандарт

Пусть онтологическая модель Z^{OWL} представлена как тройка $s_i = (Ch^S, L^S, Cr^S)$, где Ch^S – множество характеристик, L^S – множество мер, Cr^S – множество правил, тогда для преобразования Z^{OWL} требуется сформировать из этих компонент требования и объединить их в текстовом документе, что можно выразить: $Z^{OWL} \rightarrow Z^{Std}: f_{reverse}(s_i) = \bigcap_{i=1}^n (r_i, jst_i)$, где $f_{reverse}(s_i)$ – обратная функция преобразования, r_i – новое требование, jst_i – обоснование требования.

Например, если система выявила новую кросс-уровневую ситуацию «Высокая температура $\rightarrow$ несоответствие прочности», то это преобразуется в новое требование «Температура должна быть $\leq 75^\circ\text{C}$ » с обоснованием «Уменьшение риска деформации».

Таким образом, обеспечивается двунаправленное преобразование между нормативными документами (Z^{Std}) и онтологическими моделями (Z^{OWL}), что обеспечивает: автоматическую генерацию новых требований при изменении условий производства; обновление онтологии при появлении новых данных; уменьшение разрывов между статическими нормативами и динамичными бизнес-процессами.

Отметим, что механизм преобразования можно интегрировать с цифровым следом за счёт использования исторических данные для корректировки

содержания отчётов: $Df_{nt}: (s_i, d_j, p_k) \rightarrow G_{rep}$, где Df_{nt} – множество данных цифрового следа, G_{rep} – множество для формирования отчётов. Механизм цифрового следа применяется здесь для актуализации онтологий на основе реальных решений.

Таким образом, благодаря свойствам подобия моделей и связанных с процессами нормативных и организационных документов, разработан метод интеграции модели, построенной на основе ситуационно-онтологического подхода или её компонентов в бизнес-процессы и документооборот промышленного предприятия.

В шестой главе проведена комплексная апробация разработанной методологии ИППР на основе СОП, направленная на объективное подтверждение её достоверности, воспроизводимости и практической применимости.

Для верификации результатов использован многоуровневый подход, включающий:

- публикации в рецензируемых журналах (K1/K2);
- экспертный анализ (12 специалистов из промышленности и науки);
- имитационное моделирование на базе прототипа СППР;
- деловые игры и проектные работы магистрантов;
- промышленное внедрение на предприятиях и в проектных организациях.

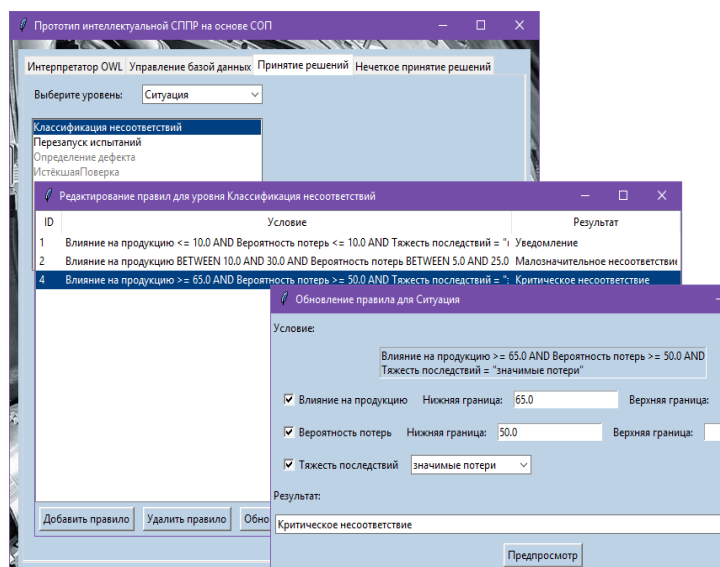


Рисунок 9 Экранные формы прототипа

Центральным инструментом апробации выступил **прототип интеллектуальной СППР** (см. рисунке 9), реализованный как модульная программная система на основе онтологического моделирования (OWL) и архитектуры СОП.

Прототип обеспечивает:

- формализацию знаний через теоретико-множественную модель ситуации;
- классификацию ситуаций на типовые, нетиповые и кросс-уровневые;

– адаптивный выбор алгоритма (жёсткие правила, нечёткая логика, многокритериальный анализ);

- генерацию объяснимых сценариев;
- двунаправленную интеграцию с нормативами и ERP-системами,
- самообучение через цифровой след.

Все этапы метода применения СОП, от анализа процесса до обратной связи, были программно реализованы и протестированы на четырёх ситуациях, возникающих в сфере обеспечения качества (рисунок 10):

- ошибки документирования (типовая, уровень «продукт»);
- использование неучтённой инструкции (кросс-уровневая, нетиповая);

- нарушение сроков уведомления ОТК (кросс-уровневая, нетиповая);
- прогнозирование рисков на основе исторических данных (кросс-уровневая, типовая).

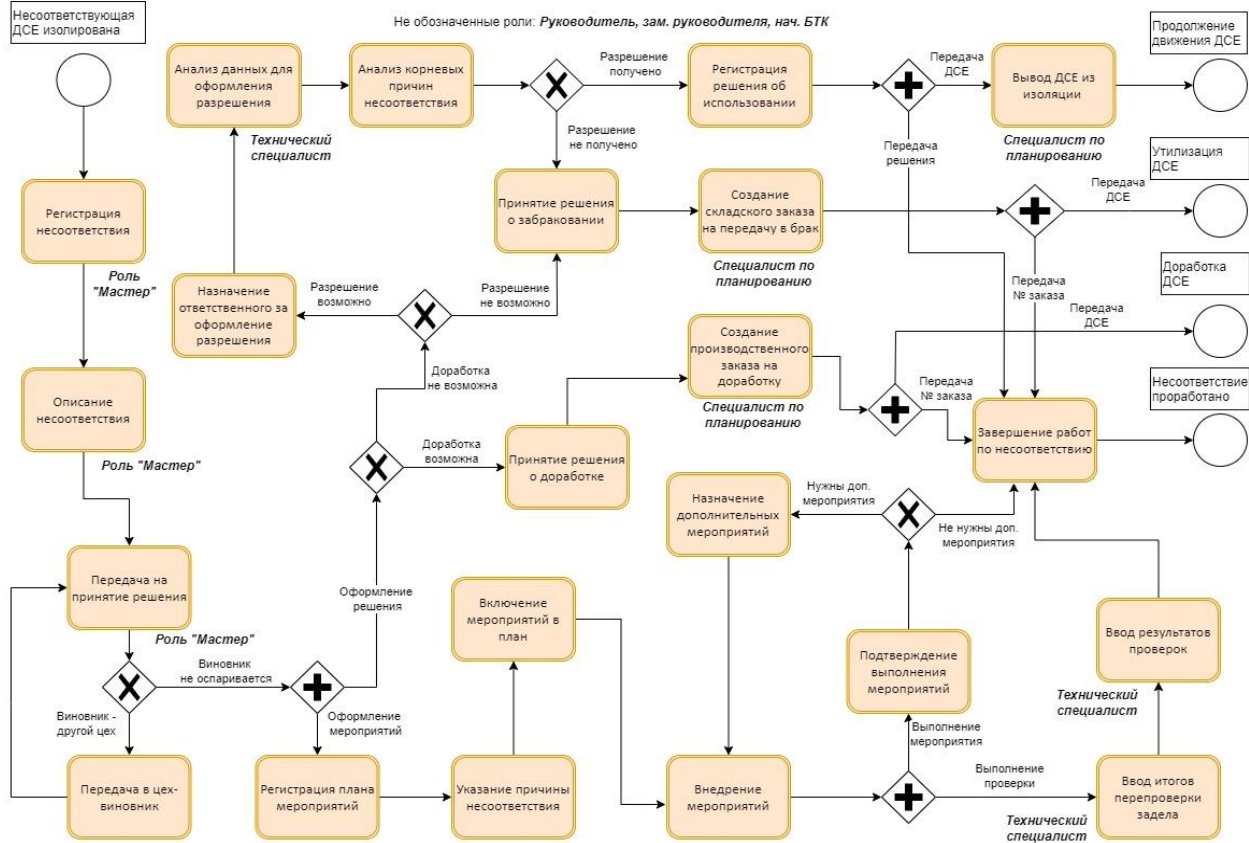


Рисунок 10 Схема операционного контроля и управления несоответствиями на предприятии дискретного производства

Апробация проведена в трёх средах:

1. **Образовательная среда** (ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий).

В рамках деловых игр и выпускных квалификационных работ магистрантов подтверждена воспроизводимость методов СОП. Результаты:

- снижение ошибок интерпретации на 65%;
- сокращение времени подготовки документов на 60%;
- рост согласованности решений до $K^{agr} = 0.93$;
- повышение объяснимости до $XAI = 4.8$ (по 5-балльной шкале).

2. **Производственная среда** (ПАО «ОДК-УМПО»).

Внедрение методологии в пилотном проекте по управлению качеством литейного производства подтверждено актом. Достигнутые эффекты показаны в таблице 4.

Таблица 4 Соответствие фразы из акта метрикам и методам диссертации

Фраза из акта	Соответствие		Пояснение
	метрике	методам	
«Сокращено время на анализ и принятие решений по дефектам на 60%»	V^{DM}	-	Метрика V^{DM} измеряет, насколько быстро СППР формирует вывод после фиксации ситуации, ускорение за счёт применения модульной архитектуры и ИИ

Фраза из акта	Соответствие		Пояснение
	метрике	методам	
«Сокращено количество повторяющихся дефектов за счёт системного анализа причин и автоматического формирования корректирующих действий»	-	Метод анализа ПСС, методика объяснимости решений, адаптированный цифровой след	Повторяющиеся дефекты устраняются за счёт формализации ПСС и генерации корректирующих сценариев на основе цифрового следа, что реализует принцип самообучения модели через обратную связь
«Сокращено время на согласование и актуализацию нормативной документации на 75% за счёт прямой связи между онтологическими моделями и регламентами»	V^{akt}	Метод двунаправленного преобр. OWL ↔ СОП, методика двунапр. интеграции онтологий в ДО	Метрика V^{akt} показывает, насколько быстро знания обновляются в системе, а сокращение времени на 75% – это следствие авт. генерации и синхронизации документов
«Повысилась согласованность действий между цехами, БТК и инженерными службами, что снизило количество спорных ситуаций и пересмотров решений»	K^{agr}	Метод кросс-уровневого согласования онтологий, трёхуровневая верификация	Противоречия между уровнями устраняются за счёт согласования онтологий и прагматической проверки на соответствие бизнес-требованиям
«Обеспечена прозрачность и прослеживаемость решений по качеству, что повысило готовность к внутренним и внешним аудитам и сократило время на подготовку док. базы»	XAI	Адаптированный метод цифрового следа, методика объяснимости решений, модель трёхуровневой верификации	Любое решение имеет доказательную базу, что реализует объяснимость и прагматическую валидацию

3. Проектная среда (ООО «АЙПЛ-Консалтинг», ООО «Газпромнефть – Цифровые решения»).

Методология адаптирована для автоматической генерации бизнес-сценариев и проектирования цифровых решений. Эффекты:

- сокращение времени подготовки сценариев на 47%;
- снижение повторяющихся замечаний на 80%;
- уменьшение итераций согласования на 50-60%;
- сокращение времени адаптации новых сотрудников на 30-70%.

Все эффекты количественно измерены по системе метрик, разработанной в диссертации: IA , V^{akt} , ΔE , T^{doc} , K^{rel} , K^{agr} , RPR , ΔK , XAI , что обеспечивает объективность и сопоставимость результатов.

Таким образом, шестая глава завершает цикл исследования, демонстрируя, что методология ИППР на основе СОП:

- теоретически обоснована;
- технически реализуема;
- эффективна в условиях реального производства;
- воспроизводима в образовательной и проектной деятельности;
- готова к тиражированию в промышленности и сфере цифровой трансформации.

В заключении приведены основные результаты проведенного теоретического и экспериментального исследования.

В Приложениях приведены документы, подтверждающие апробацию и внедрение результатов работы, а также справочные материалы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

На основе проведённого исследования разработана целостная методология ИППР в сфере обеспечения качества промышленных предприятий, основанная на СОП. Получены следующие научные результаты.

1. Разработаны **методологические основы СОП**, систематизированная теория моделирования процессов принятия решений, интегрирующая ситуационный анализ, онтологическое моделирование и теоретико-множественный формализм. В отличие от подходов Шведина, Скобелева и Удальцовой, СОП впервые обеспечивает сквозную согласованность решений между уровнями (продукт, процесс, система) и адаптацию к неопределённости за счёт гибридных ИИ-методов.

Эффективность подтверждена: точность идентификации ситуации $IA = 0.87$ (+39%), ошибки интерпретации ΔE снижены до 0.23 (–71.2%) (Табл. П.Г1 диссертации).

2. Разработаны **методы проектирования адаптивных инструментов СППР**, принципиально отличающиеся от традиционных экспертных систем и статических онтологий, включающие:

- модульную архитектуру, поддерживающую параллельную обработку задач и динамическую замену компонентов без остановки системы;
- метод выбора алгоритма, основанный на многокритериальной оценке типа ситуации и уровня неопределённости;
- интеллектуальную подсистему обработки данных, реализующую гибридную обработку через комбинацию машинного обучения и нечёткой логики;
- адаптированный нечёткий вывод, интегрирующий функции принадлежности с онтологическими характеристиками;
- механизм кросс-уровневого согласования онтологий, формирующий семантические «мосты» между уровнями принятия решений.

Данные компоненты образуют замкнутый цикл: от формализации знаний – к генерации объяснимого решения и его оценке через цифровой след, что обеспечивает устойчивость к неполным данным и динамическую адаптацию.

По расчётам: скорость принятия решений $V^{DM} = 2.8$ реш./час (+40%), воспроизводимость $RPR = 0.94$ (+36.2%) (Табл. П.Г1). По актам внедрения: снижение на 60% времени на анализ дефектов (ПАО «УМПО»), снижение на 80% повторяющихся замечаний (ООО «АЙПЛ-Консалтинг»), снижение на 75% времени на подготовку ответов (ООО «Газпромнефть – Цифровые решения») (§6.4 диссертации).

3. Создана **методология ИППР на основе СОП**, объединяющая теорию, инструменты и практическую реализацию. В отличие от классических СППР, она обеспечивает сквозную поддержку решений за счёт:

- формализованного метода применения (от анализа процесса до обратной связи);
- методики объяснимости с ролевыми интерфейсами и визуализацией ПСС;
- механизма самообучения через цифровой след;

- иерархической модели управления;
- интеграции с ERP на основе онтологической синхронизации.

Она обеспечивает воспроизводимость, согласованность и непрерывное улучшение.

Результаты: K^{agr} вырос с 0.63 до 0.90, $K^{rel} = 0.88$ (Табл. П.Г1); по актам повышение согласованности между подразделениями (ПАО «УМПО»), снижение на 50-60% итераций согласования (ООО «АЙПЛ-Консалтинг») и на 40-50% (ООО «Газпромнефть – Цифровые решения») (§6.4 диссертации).

4. Разработан комплексный метод интеграции СОП-моделей в бизнес-процессы и документооборот, включающий:

- двунаправленное преобразование OWL ↔ СОП и OWL ↔ нормативные документы;
- трёхуровневую верификацию (синтаксис–семантика–прагматика);
- метод поддержания актуальности модели через цифровой след.

Подход минимизирует противоречия при трансляции знаний и обеспечивает строгую семантическую согласованность.

Эффективность: $V^{akt} = 4.1$ связей/час (+273%), $XAI = 4.8/5$ (+65.5%) (Табл. П.Г1); по актам снижение на 75% времени на актуализацию документооборота (ПАО «УМПО»), снижение на 47% на подготовку сценариев (ООО «АЙПЛ-Консалтинг») (§6.4 диссертации).

5. Разработана методика оценки эффективности методологии ИППР, интегрирующая апостериорный, измерительно-прогнозный и оценочно-субъективный методы. В отличие от квалитметрии, она использует нечёткие переменные для агрегации показателей, что снижает субъективность.

Применение на 4-х реальных ситуациях дало интегральный показатель эффективности 85–88% («очень высокий» уровень). Методика устойчива: при вариации весов экспертов на $\pm 20\%$ итог меняется менее чем на 3%, а коэффициент Кронбаха $\alpha > 0.8$ подтверждает высокую согласованность мнений.

Таким образом, разработанная методология представляет собой целостную экосистему ИППР для промышленности, готовую к масштабированию на другие отрасли и классы задач в сфере обеспечения качества. Все результаты **протестированы в реальных условиях** на ПАО «УМПО», ООО «АЙПЛ-Консалтинг» и ООО «Газпромнефть – Цифровые решения», что подтверждено официальными актами внедрения. Методология применима к типовым, нетиповым и кросс-уровневым ситуациям на всех уровнях принятия решений, что подтверждает её практическую значимость и готовность к тиражированию в промышленности и сфере цифровой трансформации.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*В рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК
(по паспорту научной специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление
и обработка информации, статистика»)*

1. **Конев К. А., Шакирова Г. Р.** Применение метаситуационного моделирования для описания социально-экономических процессов в сфере

- образования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – № 3 (91). – С. 163 – 171.
2. Куликов Г. Г., Антонов В. В., **Конев К. А.** Кластерное программное обеспечение автоматизированной информационной системы // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2018. – Т.18. № 2. – С. 19-28.
3. Антонов В. В., **Конев К. А.** Интеллектуальный метод поддержки принятия решений в типовой ситуации // Онтология проектирования. – 2021. – Т.11, №1(39). – С.126-136. – DOI 10.18287/2223-9537-2021-11-1-126-136.
4. Антонов В. В., **Конев К. А.**, Суворова В. А., Куликов Г. Г. Ситуационно-онтологическая методология принятия решений на примере бизнес-процессов авиаприборостроительного предприятия // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2021. – Т. 21. № 1. – С. 102-115. – DOI 10.14529/ctcr210110.
5. Антонов В. В., **Конев К. А.**, Куликов Г. Г. Трансформация модели системы поддержки принятия решений для типовых ситуаций с применением интеллектуальных и аналитических методов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 14–25. – DOI 10.14529/ctcr210302.
6. Антонов В. В., **Конев К. А.** Система поддержки принятия решений для бизнес-процесса внутреннего аудита качества на предприятии авиационного приборостроения // Онтология проектирования. – 2022. – Т. 12. № 1 (43). – С. 106-116.
7. Антонов В. В., **Конев К. А.**, Куликов Г. Г. Система поддержки принятия решений на основе формализованной цифровой ситуационно-онтологической модели аудита качества // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2022. – № 42. – С. 65-90. – DOI 10.15593/2224-9397/2022.2.04.
8. Антонов В. В., **Конев К. А.** Усовершенствование ситуационной методологии разработки систем поддержки принятия решений для предприятий // Онтология проектирования. – 2022. – Т.12, №4(46). – С.547-561. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-547-561.
9. **Конев К. А.** Поддержка принятия решений в сфере обеспечения качества с использованием цифрового анализа данных // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2022. – № 4. – С. 74-86. – DOI 10.17308/sait/1995-5499/2022/4/74-86.
10. **Конев К. А.** Использование методов машинного обучения в задачах принятия решений при обеспечении качества в приборостроении // Экономика. Информатика. – 2022. – Т. 49. № 4. – С. 820-832. – DOI:10.52575/2687-0932-2022-49-4-820-832.

11. **Конев К. А.** Машинное обучение для поддержки принятия решений в сфере качества на промышленном предприятии // Экономика. Информатика. – 2023. – Т.50. №3. – С. 689–703. – DOI:10.52575/2687-0932-2023-50-3-689-703.

12. Антонов В. В., **Конев К. А.**, Пальчевский Е. В., Родионова Л. Е., Баймурзина Л. И. Обеспечение актуальности знаний о бизнес-процессе предприятия на основе онтологической модели // Онтология проектирования. – 2024. – Т.14, №1(51). – С.107-118. DOI: 10.18287/2223-9537-202414-1-107-118.

13. Антонов В. В., **Конев К. А.** Метод обработки субъективной экспертной информации для принятия решений с использованием теории нечетких множеств // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2024. – № 1. – С. 65–78. DOI: 10.21685/2227-8486-2024-1-5.

14. **Конев К. А.**, Антонов В. В. Разработка метода поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества на промышленных предприятиях // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 98-110. – DOI 10.54708/2658-5014-SIIT-2024-по4-р98. – EDN XIYRTJ.

15. **Конев К. А.** Поддержка принятия решений о качестве работы оборудования на машиностроительном предприятии на основе интеллектуальных методов // Экономика. Информатика. – 2025. – № 52(3). – С.681–696. DOI10.52575/2687-0932-2025-52-3-681-696. EDNVHBEII.

Монографии

16. Антонов В. В., **Конев К. А.** Интеллектуальные методы поддержки принятия решений при управлении в сфере обеспечения качества: монография. – Уфа: РИЦ УУНиТ, 2024. – 160 с. ISBN 978-5-7477-5901-5.

17. **Конев К. А.**, Антонов В. В. Поддержка принятия решений при обеспечении качества с использованием ситуационно-онтологического подхода. – М.: ООО «Русайнс», 2024. – 152 с. – ISBN 978-5-466-08425-2. – EDN SHBZGQ.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013660840. Подсистема автоматизированной генерации документов по шаблону для системы управления содержимым веб-портала: № 2013660840, 20.11.2013 / Куликов Г. Г., Старцев Г. В., Суворова В. А., Попкова Е. Е., **Конев К. А.**, Шакирова Г. Р., Бармин А. А., Бармина О. В.

19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025618831. Программа для поддержки принятия решений о возобновлении испытаний изделия методами машинного обучения. 08 апреля 2025 / Антонов В. В., **Конев К. А.**

20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025618287. Программа для организации базы знаний системы поддержки

принятия решений в сфере обеспечения качества. 02.04.2025 / Антонов В. В., **Конев К. А.**

21. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025623905. База данных для интеллектуальной поддержки принятия решений по диагностике и прогнозированию состояния авиационных двигателей и их компонентов. 19.09.2025 / Антонов В. В., **Конев К. А.**

22. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025684910. Программа интеграции онтологических моделей в системы предиктивного анализа технического состояния авиационных двигателей. 18.09.2025 / Антонов В. В., **Конев К. А.**

Публикации в других изданиях

23. **Конев К. А.** Концептуальная модель автоматизации предприятия авиационного приборостроения на основе актуализируемой многослойной таксономии // Вестник УГАТУ. – 2013. – Т. 17. № 5. – С. 70-77.

24. Миронов В. В., **Конев К. А.**, Шакирова Г.Р. Ситуационный подход к управлению: истоки и перспективы // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 4.2. – С. 111–118.

25. **Конев К. А.**, Шакирова Г. Р. Метаситуационное моделирование в процессах поддержки принятия решений в образовании // Информатизация образования и науки. – 2014. – № 4 (24). – С. 137 – 150.

26. **Конев К. А.**, Шакирова Г. Р. Метаситуационные модели: концепция, архитектура, применение в задачах поддержки принятия решений // Вестник УГАТУ. – 2014. – Т18, № 1 (62). – С. 131 – 140.

27. **Конев К. А.** Объективная и полная квалиметрия как инструмент менеджмента качества // Методы менеджмента качества. – 2014. – № 12. – С. 32-39.

28. **Конев К. А.**, Шакирова Г. Р., Суворова В. А., Попкова Е. Е., Томшин Я. С. Метаситуационные модели в задачах поддержки принятия решений: концепция, архитектура, метод // ITIDS+RRS'2014 Уфа. – 2014. – С. 108-114.

29. **Конев К. А.** Проектируем модульное руководство по качеству // Методы менеджмента качества. – 2015. – № 11. – С. 26-31.

30. **Konev K.** The management of Socio-Economic System based on Situational and Ontological models // DSPTech'2015, Ufa, 2015. – P. 180-185.

31. **Конев К. А.** Ситуационный метод установления наиболее вероятной причины // Методы менеджмента качества. – 2016. – № 8. – С. 28-34.

32. **Конев К. А.** Онтологическая концепция решения задач в прикладных научных исследованиях // Информатизация образования и науки. – 2016. – № 1 (29). – С. 147-155.

33. **Конев К. А.** Повышение результативности принятия решений при устранении несоответствий и их причин // Методы менеджмента качества. – № 11, 2016. – С. 34–40.

34. **Конев К. А.** Формирование квалитетической модели дисциплины // Труды Международной научно-практической конференции – ИНФОРИНО-2016. – 2016. – С. 588-591.
35. **Конев К. А.** Онтологическая специализация области научного знания // Информатизация образования и науки. – 2017. – № 3 (36). – С. 95-105.
36. **Конев К. А.** Ситуационный подход к управлению рисками-возможностями при обеспечении качества на предприятии авиационного приборостроения // Методы менеджмента качества. – 2017. – № 1. – С. 22-28.
37. **Конев К. А.** Интегрированная система менеджмента качества и принятие решений // Менеджмент качества. – 2017. – № 3. – С. 230-240.
38. Куликов Г. Г., Антонов В. В., **Конев К. А.** Кластерный подход к разработке программного обеспечения информационной системы с использованием фрактальной методологии // Сборник трудов VI Всероссийской конференции (ITIDS'2018), – 2018. – С. 100-106.
39. **Конев К. А.** Повышение объективности экспертов при принятии решений в области аудита качества // Менеджмент качества. – 2018. – № 1. – С. 14-25.
40. **Конев К. А.** Принятие решений в сложных социально-экономических системах // Методы менеджмента качества. – 2018. – № 1. – С. 30-36.
41. Intelligent Organization Management by Means of Categorizing Resources, Processes and Goals / G. Kulikov, V. Antonov, **K. Konev** // Proceedings of the VIth International Workshop «Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent, Agent-Based, Cloud Computing and Cyber Security» (IWCI 2019). – Irkutsk, 2019. – ISBN 978-94-6252-787-4. – DOI 10.2991/iwci-19.2019.20.
42. **Конев К. А.** Принятие решений на основе онтологической модели учебной дисциплины // Информатизация образования и науки. – 2020. – № 4 (48). – С. 124-134.
43. **Конев К. А.**, Антонов В. В., Ризванов Д. А., Селиванов С. Г., Бакусова Н. С. Основы концепции онтологического моделирования бизнес-процессов для задач принятия решений // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 12-1. – С. 71-77.
44. **Конев К. А.**, Воробьева Г. Р. Принятие решений на основе интеграции семантического и ситуационного подходов // Информатизация образования и науки. – 2022. – № 1(53). – С. 67-83.

Соискатель



К.А. Конев