

*На правах рукописи*



---

СЕЛЮТИН АЛЕКСАНДР ДМИТРИЕВИЧ

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
РЕСУРСАМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Специальность 2.3.1 – Системный анализ, управление  
и обработка информации, статистика

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Саратов 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Саратовский научный центр Российской академии наук».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор  
**Кушников Вадим Алексеевич**

Официальные оппоненты **Буркова Ирина Владимировна**  
доктор технических наук, доцент,  
ФГБУН «Институт проблем управления  
Российской академии наук имени  
Трапезникова В.А.», ведущий научный  
сотрудник лаборатории № 57  
«Активных систем»

**Вешнева Ирина Владимировна**  
доктор технических наук, профессор кафедры  
информационных систем и технологий  
в обучении Федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук (СамНЦ РАН)

Защита диссертации состоится «18» декабря 2025 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.391.01 СГТУ имени Гагарина Ю.А. по адресу: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, корп. 25, ауд. 815.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке СГТУ имени Гагарина Ю.А. и на сайте [www.sstu.ru](http://www.sstu.ru)

Автореферат разослан «    » октября 2025 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Самойлова Елена Михайловна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Повышение конкурентоспособности отечественных промышленных предприятий требует комплексной цифровой трансформации, соответствующей приоритетам Четвертой промышленной революции (Industry 4.0). Одним из ключевых элементов этой трансформации являются системы управления основными ресурсами промышленных предприятий (материальными, трудовыми, финансовыми, информационными и др.), представляющие собой интегрированные программные комплексы (так называемые Enterprise Resource Planning, далее ERP-системы), предназначенные для автоматизации и поддержки процессов управления основными ресурсами производства – материальными, трудовыми, финансовыми и информационными.

Современные системы управления ресурсами предприятия отличаются высокой степенью сложности и динамичностью, что требует после их внедрения постоянного оперативного управления качеством программного обеспечения, на базе которого они функционируют.

Низкое качество систем управления ресурсами предприятия может приводить к сбоям в производственных процессах, нарушению бизнес-логики, потере управляемости и, как следствие – к снижению эффективности всего производства в целом. Несмотря на широкое распространение систем управления ресурсами предприятия, вопросы формализации и математического моделирования процессов управления качеством таких систем остаются слабо проработанными.

В настоящее время значительной проблемой является уход с рынка Российской Федерации крупных зарубежных вендоров, занимавшихся разработкой и внедрением систем управления ресурсами промышленных предприятий, например, таких, как Oracle ERP, SAP ERP, Microsoft Dynamics и др. При проведении импортозамещения в современных условиях возникает необходимость в разработке новых, более эффективных моделей и алгоритмов повышения эффективности систем управления ресурсами промышленных предприятий. Данное обстоятельство обуславливает актуальность и практическую значимость цели диссертационного исследования.

Тема диссертации, внедрение ее основных результатов непосредственно обусловлены необходимостью выполнения постановления Правительства Российской Федерации от 29 марта 2019 г. № 377 (с изменениями и дополнениями) «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации», Указа Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» и Указа Президента Российской Федерации от 18 июня 2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий».

Результаты диссертационного исследования были использованы в процессе выполнения проектов Государственного задания, утвержденного Минобрнауки России для Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук» по месту выполнения диссертации соискателем.

Разделы диссертационного исследования, обладающие существенной актуальностью и новизной, используются при чтении циклов лекций для студентов специалитета и магистратуры профильных специальностей ряда вузов г. Сарато-

ва, в частности в Саратовском национальном исследовательском государственном университете имени Н.Г. Чернышевского и в Саратовском государственном техническом университете имени Гагарина Ю.А.

**Степень проработанности темы исследования.** Значительный вклад в разработку систем и методов управления и повышения качества информационных систем внесли многие отечественные ученые, такие как: Д.А. Новиков, В.Н. Бурков, И.В. Буркова, А.Ф. Резчиков, Э.Я. Раппопорт, Ю.Э. Плешивцева, О.Н. Долинина, ряд зарубежных исследователей Э. Деминг и Д. Джуран и многие другие. Их научные труды легли в основу современных подходов к оценке и обеспечению качества, что способствовало эффективной реализации и развитию таких решений, как SAP, Oracle ERP, Microsoft Dynamics и других.

Тем не менее, в настоящее время вопросы повышения эффективности систем управления ресурсами предприятий являются недостаточно исследованными, в частности, требуют глубокого рассмотрения вопросы системной оценки качества программного обеспечения ERP-систем. Большинство исследований фокусируются на частных аспектах функционирования систем управления ресурсами предприятия, без комплексного учета динамики изменений и взаимосвязей между характеристиками качества. Это обстоятельство обуславливает актуальность и практическую значимость темы диссертации, направленной на совершенствование качества функционирования систем управления ресурсами промышленных предприятий, работающих в условиях перехода к новым технологическим укладам.

**Цели и задачи исследования.** Целью диссертационного исследования является повышение эффективности систем управления ресурсами промышленных предприятий за счет разработки математического и программного обеспечения, позволяющего осуществлять оперативное управление по критерию качества в процессе их эксплуатации и развития.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать математическую модель для управления эффективностью программного обеспечения системы управления ресурсами промышленного предприятия;
- разработать и обосновать алгоритмы решения задачи управления эффективностью в режиме реального времени;
- создать типовое математическое и программное обеспечение, позволяющее осуществить оперативное управление эффективностью программного обеспечения системы управления ресурсами предприятия по разработанным моделям и алгоритмам;
- реализовать внедрение основных результатов диссертации на примере отдельных предприятий и организаций.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования является программное обеспечение систем управления ресурсами промышленного предприятия. Предметом исследования являются процессы управления эффективностью программного обеспечения систем управления ресурсами промышленного предприятия.

**Методология и методика исследования.** В диссертации использованы методы теории управления, теории графов, функционального анализа, теории дифференциальных уравнений, математической логики, теории множеств, математического программирования, искусственного интеллекта, нечеткой логики,

имитационного моделирования, а также методы проектирования информационных систем распределенной структуры.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Результаты системного анализа процесса управления эффективностью программного обеспечения систем управления ресурсами промышленных предприятий позволили поставить и формализовать задачу управления эффективностью как задачу вариационного исчисления нахождение условного минимума функционала эффективности в виде взвешенной суммы разности квадратов отклонений характеристик качества программного обеспечения от рекомендованных лицами, принимающими решения (ЛПР), значений при ограничениях в виде сложной системы нелинейных дифференциальных уравнений, неравенств и граничных условиях.

2. Новая разработанная гетерогенная модель для определения изменений во времени характеристик качества программного обеспечения при управлении ресурсами промышленного предприятия, включающая систему нелинейных дифференциальных уравнений, уравнения регрессии, а также графовые и продукционные модели, позволяет формализовать сложную причинно-следственную структуру взаимосвязей между характеристиками качества программного обеспечения и возмущениями среды.

3. Предложенная модель нечеткой логики, позволяющая осуществить квантификацию качественных параметров гетерогенной модели задачи управления, отличающаяся от существующих возможностью учета релевантных возмущений среды и сложных, преимущественно нелинейных взаимосвязей между переменными управляемых процессов, позволяет повысить точность прогнозирования, а также улучшить оперативность и качество принимаемых решений.

4. Разработанные методы и предложенные алгоритмы решения задачи управления эффективностью ERP-систем позволили оптимизировать процесс управления ресурсами предприятия по критерию минимума отклонения характеристик от нормативных значений. Их отличие от существующих методов и разработанных алгоритмов заключается в комбинированном подходе к анализу параметров качества, что повышает точность прогнозирования изменений выходных характеристик управляемых процессов при возникновении распространенных производственных ситуаций.

**Теоретическая и практическая значимость результатов.** Основные теоретические положения диссертации, разработанные в виде математических моделей, методов, алгоритмов и комплексов программ, позволяют оперативно решить задачу управления ресурсами промышленных предприятий, выполняя прогноз изменений во времени релевантных характеристик систем управления ресурсами предприятия.

Практическая значимость основных результатов диссертационного исследования связана с возможностью внедрения основных положений диссертационного исследования на предприятиях различного производственного профиля, в организациях и в учебном процессе, а также создания типового информационно-программного обеспечения, используемого при управлении процессами повышения качества систем управления ресурсами промышленных предприятий.

Разработанная программная система может быть внедрена в структурных подразделениях таких компаний, как ООО «Экспо-Линк», ООО «Редлаб», меж-

дународная компания «Ашан», IT-компания ООО «Опендэв», промышленное предприятие АО «Трансмаш» и др., использующих систему управления ресурсами организации или предприятия Odoo.

**На защиту выносятся следующие результаты исследования и положения:**

1. Результаты системного анализа процесса управления эффективностью программного обеспечения систем управления ресурсами промышленных предприятий.

2. Гетерогенная модель для определения изменений во времени характеристик качества программного обеспечения при управлении ресурсами промышленного предприятия.

3. Модель на основе нечеткой логики, позволяющая осуществить квантификацию качественных параметров гетерогенной модели решаемой задачи.

4. Предложенное информационно-программное обеспечение, используемое при внедрении основных результатов диссертации на ряде предприятий и организаций, а также при проведении вычислительных экспериментов и обработке статистической информации.

5. Методы и алгоритмы решения задачи управления эффективностью системы управления ресурсами промышленного предприятия.

**Обоснованность и достоверность полученных результатов.** Результаты диссертационной работы получены с использованием формального аппарата теории управления, системной динамики, теории графов и нечеткой логики. Апробация разработанных моделей и алгоритмов проводилась на реальных данных систем управления ресурсами организаций (предприятий) Odoo в ООО IT-компании «Опендэв» (г. Саратов) и на промышленном предприятии АО «Трансмаш» (г. Энгельс Саратовской области). При этом полученные результаты совпадают с оценками независимых экспертов. Достоверность подтверждена повторяемостью численных экспериментов и тестированием разработанного программного обеспечения для оценки эффективности информационных модулей систем управления ресурсами предприятия в условиях реального времени, что уменьшает вероятность возникновения методических ошибок и подтверждает применимость разработанных решений на практике.

**Реализация и внедрения результатов работы.** Полученные в диссертационной работе результаты:

– внедрены в структурных подразделениях IT-компании ООО «Опендэв» (г. Саратов) и на промышленном предприятии АО «Трансмаш» (г. Энгельс Саратовской области) при эксплуатации и доработке основной системы управления ресурсами организации (предприятия) по ряду контролируемых объектов;

– использованы в ФИЦ СЦ РАН при выполнении Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по темам: № FFNM-2022-0010, № ГР 122030400209-9 «Разработка интеллектуальных моделей и методов управления сложными человеко-машинными системами в условиях критических ситуаций»; № FMRN-2021-0001, № ГР 122011200222-9 «Разработка задач, моделей и методов для анализа выполнимости структурно-сложных планов мероприятий, реализуемых в процессе управления сложными человеко-машинными системами по критерию эффективности и безопасности функционирования».

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты работы докладывались, обсуждались и публиковались в сборниках материалов научных трудов: XVII Международной научно-практической конференции «Проблемы управления в социально-экономических и технических системах» (Саратов, 2021); XI Международной научной конференции «Computer Science On-line Conference» (Vsetin, 2022); XV Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (Москва, 2022); Международной научно-технической конференции «ИСТ-2023» (Самара, 2023); XIX Международной научно-практической конференции «Проблемы управления в социально-экономических и технических системах» (Саратов, 2023); XVI Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (Москва, 2023); VII Международной научной конференции «Computational Methods in Systems and Software» (Vsetin, 2023); XII Международной научно-практической конференции «Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками» (Саратов, 2023); XIV Всероссийском совещании по проблемам управления (Москва, 2024). Результаты диссертационной работы были доложены на научных семинарах ИПТМУ РАН - обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук», а также на научном семинаре лаборатории №33 Института проблем управления имени Трапезникова В.А. Российской академии наук (ИПУ РАН).

**Соответствие темы диссертации требованиям паспорта специальностей научных работников.** Диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации, статистика: п. 2 – Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта; п. 5 – Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта; п. 8 – Теоретико-множественный и теоретико-информационный анализ сложных систем.

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 17 научных работ (4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 3 из которых имеют категорию K1 и K2; 4 статьи в иностранных изданиях, индексируемых в базе Scopus и Web of Science, 6 статей в сборниках научных трудов, профильных научных журналов и материалах конференций). Имеются 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, а также в соавторстве подготовлена и опубликована 1 монография.

**Личный вклад автора.** Все основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены лично соискателем. Постановка задач исследования были осуществлены соискателем совместно с научным руководителем, д.т.н., профессором Кушниковым В.А. Во всех работах и публикациях, выполненных соискателем в соавторстве, автор внес значительный вклад в разработку представленных математических моделей, методов и алгоритмов. Соискатель принимал непосредственное участие в формализации критериев оценки эффективности ERP-систем, построении моделей нечеткой логики и системной динамики, а также в реализации и апробации информационной системы оценки качества программного обеспечения. Разработка информационно-программного обеспечения была выполнена соискателем лично.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Работа содержит 162 страницы, включая 53 рисунка, 11 таблиц, список литературы из 157 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель, задачи исследования, отражены научная новизна и практическая значимость диссертационной работы, выделены результаты, выносимые на защиту.

**В первой главе** описана классификация метрик качества программного обеспечения по мере их возникновения, выявлены ключевые причины их ограниченности и проведен сравнительный анализ существующих классов метрик.

Представлена структура типовой системы управления ресурсами предприятия. Осуществлен обзор математических моделей, методов и алгоритмов, используемых при анализе качества систем управления ресурсами предприятия, а также проведен анализ проблемы управления качеством. Из проведенного анализа следует, что для повышения эффективности существующих методов необходимо разработать модели и алгоритмы, позволяющие прогнозировать характеристики качества программного обеспечения систем управления ресурсами предприятия. В составе таких моделей должна быть представлена математическая структура, позволяющая определить ключевые метрики качества, определенные в нормативных актах.

Представлены постановка и общий подход решения задачи управления эффективностью ERP-систем, который имеет следующую формулировку. Для эффективной разработки/эксплуатации системы управления ресурсами предприятия необходимо разработать формальные модели и алгоритмы, которые на заданном временном интервале  $t \in [t_0; t_n]$  определяют управляющие воздействия  $p(t) \in P$ , минимизирующие целевую функцию:

$$Z(t, p(t), q(t)) = \int_{t_0}^{t_n} \sum_{i=1}^m (L_i^* - L_i(t, p(t), q(t)))^2 \eta_i dt, \quad (1)$$

при ограничениях

$$\frac{dL_i(t, p(t), q(t))}{dt} = f(t, q(t), L_1(t, p(t)), \dots, L_m(t, p(t))), \quad (2)$$

$$i = \overline{1, m}, t > 0, L_i(t, p(t)) > 0,$$

и при граничных условиях

$$F_i^{t_0}(L, L', p) = 0, F_j^{t_n}(L, L', p) = 0, i = 1, \dots, k_1, j = 1, \dots, k_2, \quad (3)$$

где  $L_i^*$  – рекомендуемые (начальные) значения характеристик качества ПО,  $L_i(t, p(t), q(t))$ ,  $i = 1, \dots, m$  – метрики качества ПО,  $\eta_i$  – весовой коэффициент  $i$ -ой характеристики,  $q(t)$  – вектор показателей внешней среды.

Также в первой главе представлен общий подход к решению поставленной задачи, основанный на методологии системной динамики.

**Во второй главе** описан процесс разработки математической модели для прогнозирования качества информационных модулей систем управления ресурсами предприятия. Определяются 14 качественных (основанных на ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015, ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93) и 7 количественных переменных модели (на основе ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2012, ГОСТ 28195-89, ГОСТ Р ИСО/МЭК 25040-2014), в частности:  $L_1(t)$  – функциональность;  $L_2(t)$  – при-

годность;  $L_3(t)$  – правильность (функциональная корректность);  $L_4(t)$  – согласованность;  $L_5(t)$  – защищенность;  $L_6(t)$  – надежность;  $L_7(t)$  – стабильность;  $L_8(t)$  – восстанавливаемость;  $L_9(t)$  – практичность;  $L_{10}(t)$  – понятность;  $L_{11}(t)$  – простота;  $L_{12}(t)$  – эффективность;  $L_{13}(t)$  – сопровождаемость;  $L_{14}(t)$  – изменяемость;  $L_{15}(t)$  – SLOC (количество строк исходного кода);  $L_{16}(t)$  – программные ошибки;  $L_{17}(t)$  – программные уязвимости;  $L_{18}(t)$  – степень несоответствия шаблонам проектирования;  $L_{19}(t)$  – процент покрытия тестами;  $L_{20}(t)$  – ошибки компьютерной безопасности;  $L_{21}(t)$  – процент дублирования в коде.

Также определены параметры внешней среды:  $q_1(t)$  – опыт команды разработки;  $q_2(t)$  – опыт пользователей;  $q_3(t)$  – трудоемкость разработки ПО;  $q_4(t)$  – курс рубля по отношению к доллару;  $q_5(t)$  – деловая репутация организации.

Для обработки качественных параметров разрабатывается модель нечеткой логики, позволяющая учитывать субъективные характеристики, обеспечивая гибкость анализа, адаптируясь к нечетко формализованным данным и экспертным оценкам. Разработка данной модели включает методы получения, анализа и обработки экспертной информации, включая статистические показатели, что обеспечивает повышение точности оценки качества систем управления ресурсами предприятия.

Общая структура системы нечеткого вывода для анализа качества системы управления ресурсами предприятия представлена на рисунке 1.

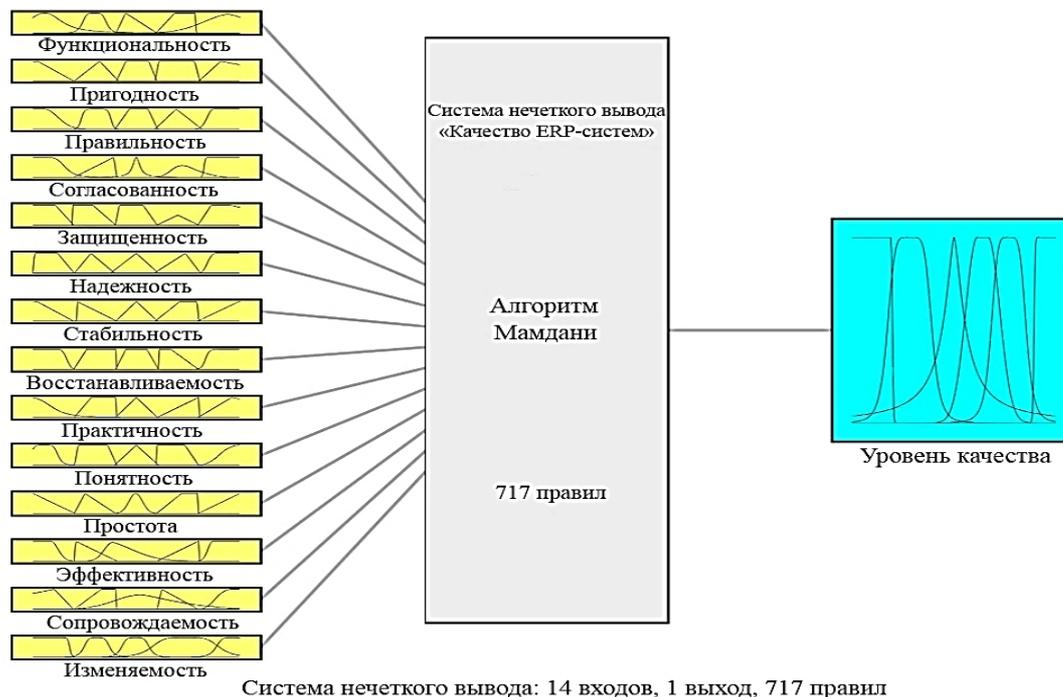


Рисунок 1 – Система нечеткого вывода «Качество ERP-систем»

Количественные параметры анализируются с помощью инструмента SonarQube, что обеспечивает точную оценку метрик качества кода.

В исследовании задействованы данные популярных open-source систем управления ресурсами предприятия, таких как: Tryton; ERPNext; Dolibarr; ERP5; Axelor ERP; XTuple 411x; Flectra; ADempiere; Odoo, что позволяет проверить применимость предложенного подхода на практике.

С помощью описанных ранее методов собирается статистика по основным параметрам качества данных 9 систем управления ресурсами предприятия.

Далее описан процесс построения графа причинно-следственных связей, основанного на системной динамике. Этот граф описывает взаимодействие 21 параметра качества. Каждая вершина отражает изменения конкретного показателя во времени, что позволяет анализировать взаимосвязь параметров и их динамику. Такой подход помогает выявлять факторы, оказывающие наиболее значительное влияние на качество и прогнозировать изменения при различных сценариях.

Граф причинно-следственных связей представлен на рисунке 2 (на графике отображены связи системных переменных только с внешними возмущениями из-за невозможности корректно отобразить 216 связей между уровнями модели).

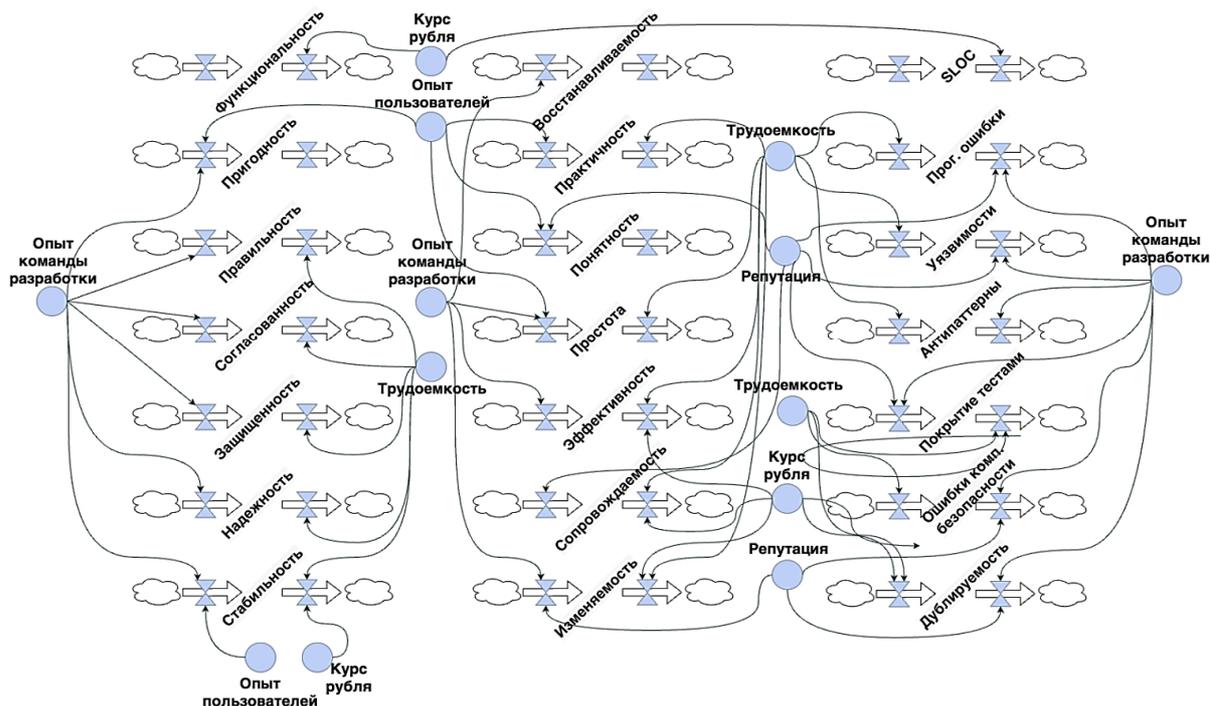


Рисунок 2 – Граф причинно-следственных связей между переменными модели

На основе графа причинно-следственных связей разработана система дифференциальных уравнений в общем виде, которая объединяет все выявленные зависимости. Эта система служит основой для проведения комплексных расчетов и моделирования поведения систем управления ресурсами предприятия при изменении входных данных. Часть системы представлена в (4):

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dL_1(t)}{dt} &= \frac{1}{L_1^*} ((f_1(L_2(t)) * f_2(L_3(t)) * f_3(L_{13}(t)) * f_4(L_{14}(t)) * \\ &\quad * f_5(L_{15}(t)) * f_6(L_{21}(t))) - q_4(t)) \\ &\quad \vdots \\ \frac{dL_{21}(t)}{dt} &= \frac{1}{L_{21}^*} ((f_{256}(L_{15}(t)) * f_{257}(L_{16}(t)) * f_{258}(L_{17}(t)) * \\ &\quad * f_{259}(L_{18}(t)) * f_{260}(L_{19}(t)) * f_{261}(L_{20}(t)) * \\ &\quad * (q_3(t) + q_4(t))) - (f_{262}(L_4(t)) * f_{263}(L_6(t)) * \\ &\quad * f_{264}(L_{10}(t)) * f_{265}(L_{11}(t)) * f_{266}(L_{12}(t)) * f_{267}(L_{13}(t)) * \\ &\quad * f_{268}(L_{14}(t)) * (q_1(t) + q_5(t))) \end{aligned} \right. \quad (4)$$

В третьей главе описан процесс определения функциональных зависимостей на основе собранных во 2 главе статистических данных по 21 параметру качества на основе данных 9 open-source систем управления ресурсами предприятия, включая методы выделения функционального сечения, построения интерполяционных полиномов и оценки их статистических показателей. Эти методы обеспечивают точное аппроксимирование зависимостей, необходимых для анализа параметров качества. Для функциональной зависимости  $f_1(L_2(t))$  интерполяционный полином имеет вид, представленный на рисунке 3.

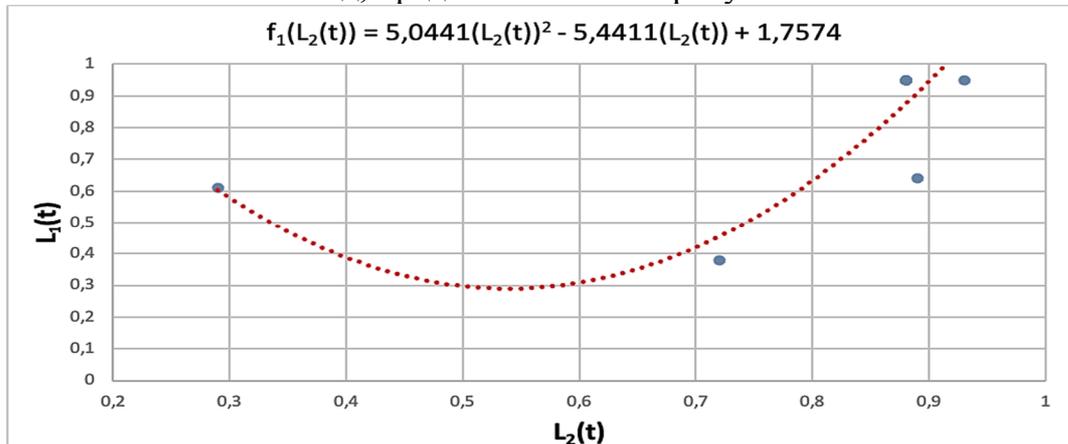


Рисунок 3 – Интерполяционный полином функциональной зависимости  $f_1(L_2(t))$

Параболическая функциональная зависимость  $f_1(L_2(t)) = 5,0441(L_2(t))^2 - 5,4411(L_2(t)) + 1,7574$  может отражать следующий паттерн: начиная с увеличения пригодности после полного рефакторинга, увеличение этой переменной может привести к квадратичному росту функциональности.

На рисунке 4 изображен интерполяционный полином зависимости  $f_2(L_3(t))$ .

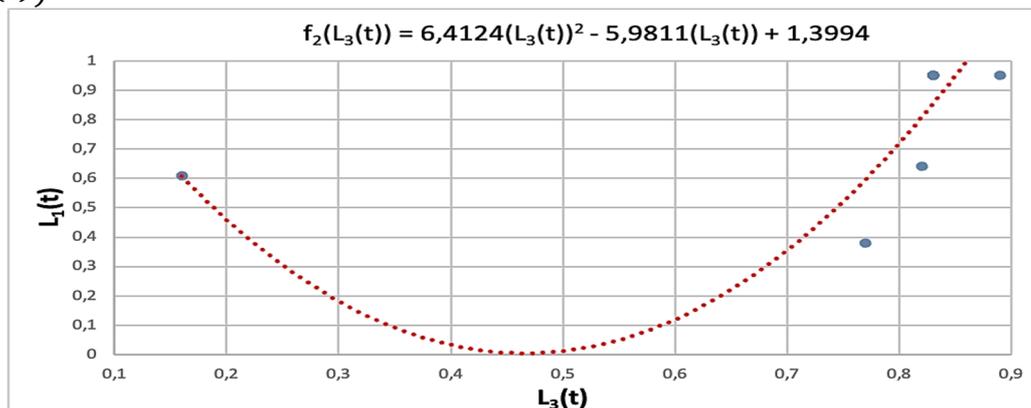


Рисунок 4 – Интерполяционный полином функциональной зависимости  $f_2(L_3(t))$

Параболическая функциональная зависимость  $f_2(L_3(t)) = 6,4124(L_3(t))^2 - 5,9811(L_3(t)) + 1,3944$  может отражать этот паттерн: начиная с увеличения правильности, функциональность модулей может сначала снижаться. После достижения определенного уровня правильности, функциональность может достигнуть минимума. Однако, после этого минимума, функциональность модулей начнет резко увеличиваться, поддерживая параболическую форму зависимости.

Представлена система дифференциальных уравнений в частном виде, обеспечивающая формализацию процесса математического описания изменения показателей качества во времени. Построение данной системы основывается на выявленных функциональных зависимостях между основными параметрами системы, а также на вспомогательных связях, влияющих на их динамику изменения. Для повышения точности моделирования использованы методы, учитывающие временные зависимости и взаимовлияние показателей, что позволяет отразить сложную динамику системы.

Система приведена в выражении (5):

$$\left\{ \begin{aligned}
 \frac{dL_1(t)}{dt} &= \frac{1}{L_1^*} (((5(L_2(t))^2 - 5,4(L_2(t)) + 1,76) * (6,4(L_3(t))^2 - \\
 &\quad - 5,98(L_3(t)) + 1,4) * (-543,1(L_{13}(t))^3 + 1523(L_{13}(t))^2 \\
 &\quad - 1418(L_{13}(t)) + 439,1) * (-7,8(L_{14}(t))^3 + 15,9(L_{14}(t))^2 - \\
 &\quad - 9,2(L_{14}(t)) + 2,1) * (8(L_{15}(t))^4 - 9,4(L_{15}(t))^3 - 0,2(L_{15}(t))^2 \\
 &\quad + 2,14(L_{15}(t)) + 0,52) * (-0,88(L_{21}(t))^2 + 1,1(L_{21}(t)) + \\
 &\quad + 0,6)) - (1,3(t) - 1,82)) \\
 \frac{dL_2(t)}{dt} &= \frac{1}{L_2^*} (((2,4(L_1(t))^2 - 2,79(L_1(t)) + 1,42) * (2,3(L_5(t))^2 - \\
 &\quad - 2,5(L_5(t)) + 1,3) * (125,7(L_6(t))^4 - 233,6(L_6(t))^3 + 138,2(L_6(t))^2 - \\
 &\quad - 26,9(L_6(t)) + 1,41) * (24,5(L_7(t))^3 - 39,6(L_7(t))^2 + 18,7(L_7(t)) - \\
 &\quad - 1,2) * 39,6(L_7(t))^2 * (-11,97(L_8(t))^3 + 19,5(L_8(t))^2 - 8,7(L_8(t)) + \\
 &\quad + 1,62) * (-70,5(L_9(t))^3 + 127,7(L_9(t))^2 - 67,9(L_9(t)) + 10,2) * \\
 &\quad * (2,8(L_{10}(t))^2 - 2,7(L_{10}(t)) + 1) * (-20,5(L_{11}(t))^3 + 34,2(L_{11}(t))^2 - \\
 &\quad - 15,9(L_{11}(t)) + 2,3) * (69,2(L_{12}(t))^4 - 130(L_{12}(t))^3 + 82(L_{12}(t))^2 - \\
 &\quad - 18,1(L_{12}(t)) + 1,5) * (-1407(L_{13}(t))^3 + 3840(L_{13}(t))^2 - \\
 &\quad - 3484(L_{13}(t)) + 1051,6) * (-2,3(L_{14}(t))^2 + 3,6(L_{14}(t)) - 0,49) * \\
 &\quad * ((2,3(t) + 4,3) + (0,56 \ln(t) + 1,22))) - ((0,3(L_{16}(t))^2 - \\
 &\quad - 0,4(L_{16}(t)) + 0,9) * (1,1(L_{17}(t))^2 - 1,35(L_{17}(t)) + 1,1) * \\
 &\quad * (4,4(L_{18}(t))^3 - 8,8(L_{18}(t))^2 + 5,3(L_{18}(t)) - 0,1) * (-0,4(L_{20}(t))^3 + \\
 &\quad + 0,7(L_{20}(t))^2 - 0,14(L_{20}(t)) + 0,73))) \\
 &\quad \vdots \\
 \frac{dL_{21}(t)}{dt} &= \frac{1}{L_{21}^*} ((L_{15}(t) * L_{16}(t) * L_{17}(t) * L_{18}(t) * L_{19}(t) * \\
 &\quad * L_{20}(t) * (0,24(t)^2)) + (1,3(t) - 1,82))) - \\
 &\quad - (L_4(t) * L_6(t) * L_{10}(t) * L_{11}(t) * L_{12}(t) * L_{13}(t) * L_{14}(t) * \\
 &\quad * (2,32(t) + 4,32)) + (0,15 * \exp(2,32 * (t))))))
 \end{aligned} \right. \quad (5)$$

Представлен метод решения задачи управления качеством информационных модулей систем управления ресурсами предприятия. В основе метода

лежит процесс оптимизации параметров системы, направленный на обеспечение максимального уровня качества при заданных ресурсных и технических ограничениях. Предложенный подход учитывает как внешние изменения, влияющие на эксплуатацию системы, так и внутренние особенности архитектуры модулей.

Применение разработанного метода позволяет формировать обоснованные управленческие решения, которые способствуют повышению таких характеристик качества, как надежность, функциональность и адаптивность систем управления ресурсами предприятия. Это особенно актуально в условиях изменяющихся требований пользователей и динамической среды функционирования.

В четвертой главе представлены методы внедрения разработанных подходов и инструментов управления качеством систем управления ресурсами промышленных предприятий.

Приводится модельный пример, в котором оценивается успешность реализации планов мероприятий, который включает моделирование процесса улучшения качества системы управления ресурсами предприятия Odoo. Для создания имитационной модели использовались данные с системы сбора метрик кода SonarQube, которая используется для контроля качества дорабатываемых модулей системы управления ресурсами предприятия Odoo. Также использовались статистические данные на основе открытых/закрытых дефектов из системы учета задач (Jira). Анализируя динамику изменения количественных характеристик в модельном примере, используется временной интервал в 1 спринт (10 рабочих дней). Результаты численного решения системы (5) представлены на рисунке 5.

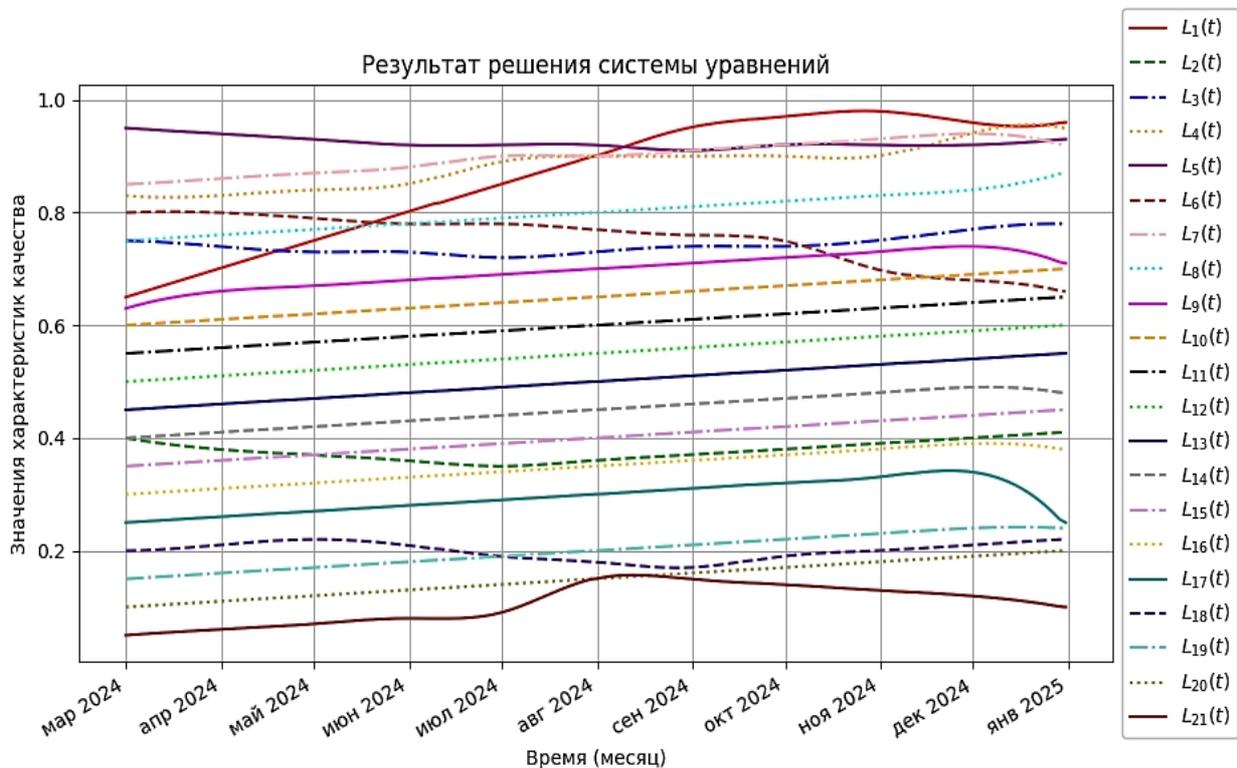


Рисунок 5 – Результаты расчета характеристик с учетом представления вспомогательных функций системы (3) в аддитивно-мультипликативном виде

Далее в рамках модельного примера рассмотрены 3 плана мероприятий для корректировки качества системы управления ресурсами предприятия Odoo по сравнению с изначальным планом  $p_0^\alpha(t)$ .

Решим задачи (1) – (3) для множества управляющих воздействий  $P$  для планов  $p_1^\alpha$  и  $p_2^\alpha$ . Для плана  $p_1^\alpha$  имеем

$$Z(t, p_1^\alpha) = \int_1^{10} (0,5(0,2 + 0,015t^3 - 1,2t^2 + 1,8t) + 0,5(0,3 - 0,005t^2 + 0,6t)) dt = (0,1 + 0,01t^3 - 0,6t^2 + 0,9t + 0,15 - 0,01t^2 + 0,3t)dt = (0,0075t^3 - 0,6025t^2 + 1,2t + 0,25)dt = 9,45, \quad (6)$$

При реализации плана  $p_2^\alpha$  имеем

$$Z(t, p_2^\alpha) = \int_1^{10} (0,6(0,15 + 0,02t^3 - 1,5t^2 + 2t) + 0,4(0,2 - 0,01t^2 + 0,5t))dt = (0,09 + 0,012t^3 - 0,9t^2 + 1,2t + 0,08 - 0,004t^2 + 0,2t)dt = (0,012t^3 - 0,904t^2 + 1,4t + 0,17)dt = 9,38, \quad (7)$$

Проведенные расчеты показывают, что решением задачи (1) – (3) является план  $p_2^\alpha$ .

На рисунке 6 представлено сравнение площадей криволинейных трапеций  $Z(p_0^\alpha), Z(p_1^\alpha), Z(p_2^\alpha)$  из которого видно, что план мероприятий  $p_2^\alpha$  является наиболее эффективным по сравнению с другими планами.

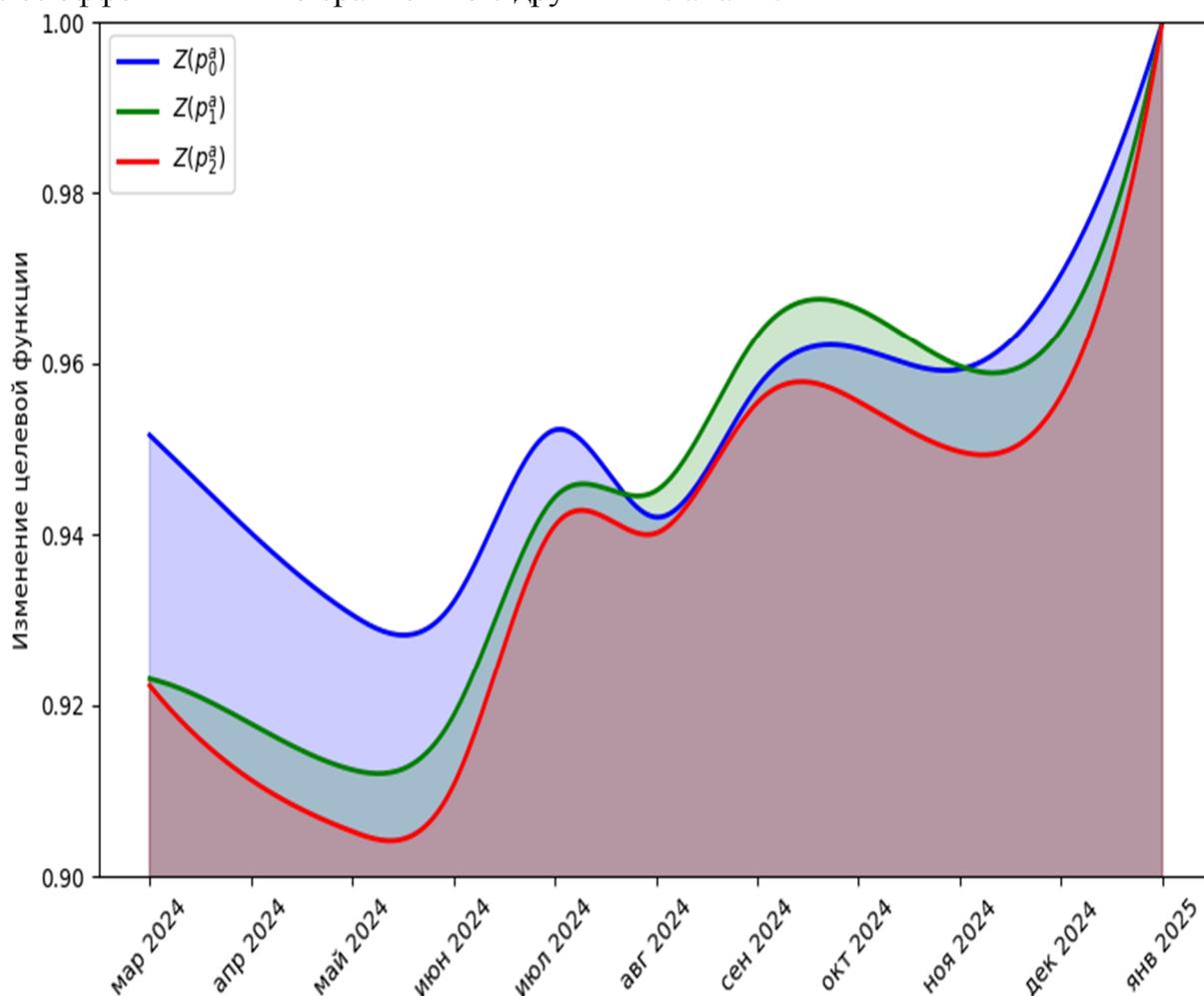


Рисунок 6 – Сравнение площадей криволинейных трапеций  $Z(p_0^\alpha), Z(p_1^\alpha), Z(p_2^\alpha)$

Верхний уровень плана  $p_2^\alpha$ , предназначенный для повышения уровня качества системы управления ресурсами предприятия Odoo, приведен на рисунке 7.

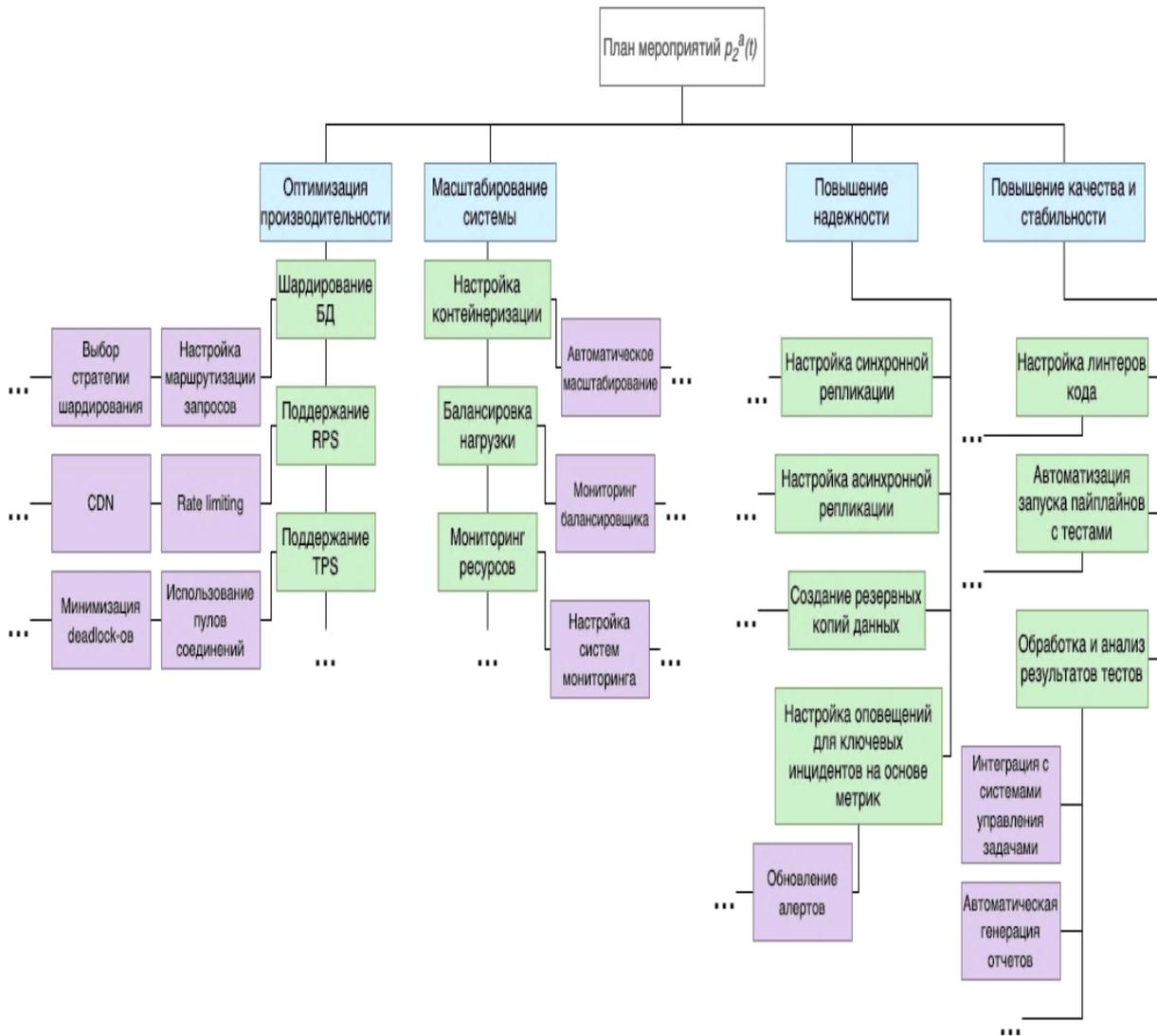


Рисунок 7 – Верхний уровень плана мероприятий по улучшению качества системы управления ресурсами предприятия

Полученные результаты согласуются с настоящей динамикой метрик качества системы управления ресурсами предприятия Odoo в ООО «ОПЕНДЭВ» в рамках годовой стратегии.

Проведен анализ адекватности предложенного метода управления качеством на основе сопоставления результатов моделирования с реальными данными. Оценена эффективность внедренных мероприятий и описаны ограничения, а также возможные направления для дальнейших улучшений.

Описана разработанная информационная система управления качеством информационных модулей ERP-систем, включая ее структуру, программные и аппаратные требования, а также целевую архитектуру. Приведен интерфейс пользователя и информационно-логическая схема системы. Детализирована методика внедрения информационной системы на промышленных предприятиях, включая этапы адаптации, интеграции и оценки результатов. Рассмотрено место разработанной системы в общей структуре предприятия и ее влияние на повышение качества управления бизнес-процессами.

В результате внедрения информационной системы оценки качества программного обеспечения системы управления ресурсами промышленного предприятия были получены метрики, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Повышение эффективности ERP-системы Odoo после внедрения результатов диссертационного исследования

Характеристики ERP-системы	До внедрения	После внедрения
Время отклика (миллисекунды)	58	44
Количество ошибок промышленной среды	12	7
Количество дефектов в результате тестирования релиза	6	2
Процент покрытия тестами	67	72

Таким образом, можно утверждать, что уровень качества на управляемом объекте был повышен. Представленные метрики отражают достижение основных количественных показателей, установленных руководством предприятия.

При повторной экспертизе эффективности функционирования системы управления ресурсами предприятия Odoo в структурных подразделениях IT-компании ООО «Опендэв» было установлено, что уровень качества программного обеспечения изменился с термина «Хороший» на «Отличный».

Для структурных подразделений промышленного предприятия АО «Трансмаш», выступающего в роли заказчика для ООО «Опендэв», в результате внедрения разработанной информационной системы было установлено, что уровень качества программного обеспечения системы управления ресурсами предприятия изменился с термина «Хороший» на «Отличный».

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Диссертация содержит следующие основные научные и практические результаты:

1. При проведении системного анализа процесса управления эффективностью программного обеспечения систем управления ресурсами промышленных предприятий была разработана содержательная и формальная постановка задачи управления эффективностью программного обеспечения, относящаяся к классу задач вариационного исчисления нахождение условного минимума. Подынтегральная функция качества представлена в виде взвешенной суммы разности квадратов отклонений характеристик качества от рекомендованных ЛПР значений при ограничениях в виде сложной системы нелинейных дифференциальных уравнений, неравенств и граничных условиях. В отличие от известных постановок, ограничивающихся параметрическими или стохастическими моделями, предложенная формализация учитывает многокритериальность и динамическую природу управляемого процесса.

2. Разработана новая комплексная модель для определения изменений во времени характеристик качества программного обеспечения при управлении ресурсами промышленного предприятия. В общем виде модель состоит из 21 нелинейного дифференциального уравнения, 268 уравнений регрессии, нескольких графовых и продукционных моделей, формализующих сложную причинно-следственную структуру взаимосвязей между характеристиками качества программного обеспечения и возмущениями среды.

3. Развита модель нечеткой логики, позволившая осуществить квантификацию качественных параметров комплексной модели задачи управления. Модель отличается от существующих возможностью учета релевантных возмущений среды и сложных, преимущественно нелинейных взаимосвязей между переменными управляемых процессов, что позволило повысить точность прогнозирования, а также улучшить оперативность и качество принимаемых ЛПР решений.

4. Предложены и обоснованы методы и алгоритмы решения задачи управления эффективностью системы управления ресурсами промышленного предприятия, отличающиеся от существующих алгоритмов, ориентированных на стандартные метрики, использованием интегративной оценки качества с учетом количественных и качественных характеристик, а также параметров внешней среды.

5. Реализованы новые подходы к процедуре внедрения основных результатов диссертационного исследования на ряде предприятий и организаций. В отличие от локальных методик, применяемых в отдельных организациях, предложенный подход обеспечивает возможность интеграции разработанных моделей и алгоритмов в различные корпоративные инфраструктуры, способствуя распространению и апробации результатов в широкой практике.

6. Сформулированы рекомендации и обозначены перспективы дальнейшего развития темы. В частности, целесообразно продолжить исследования в направлении адаптации разработанных моделей и алгоритмов к другим предметным областям, расширения интегративной оценки за счет новых показателей качества, а также автоматизации внедрения с применением современных интеллектуальных технологий и цифровых платформ.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Публикации в изданиях, включенных в перечень ВАК Минобрнауки России

1. Селютин, А. Д. Модели и методы проверки достижимости целей и выполнимости планов в крупномасштабных системах на примере целей и планов ликвидации последствий наводнения / А. Д. Цвиркун, А. Ф. Резчиков, В. А. Кушников [и др.] // Автоматика и телемеханика. **(К1)**. – 2023. – № 12. – С. 49-63. – DOI 10.31857/S000523102312005X.

2. Селютин, А. Д. Задача идентификации производственных ситуаций в системах управления производственными процессами авиаремонтного предприятия / В. А. Кушников, А. С. Богомолов, В. А. Иващенко [и др.] // Мехатроника, автоматизация, управление. **(К1)**. – 2023. – Т. 24, № 9. – С. 451-461. – DOI 10.17587/mau.23.451-461.

3. Селютин, А. Д. Модели и методы управления качеством ERP-систем / А. Д. Селютин, В. А. Кушников, А. С. Богомолов // Автоматизация. Современные технологии. **(К2)**. – 2024. – Т. 78, № 11. – С. 523-526. – DOI 10.36652/0869-4931-2024-78-11-523-526.

4. Селютин, А. Д. Анализ качества Oracle ERP Cloud / А. Д. Селютин, М. А. Большелатов, В. А. Кушников [и др.] // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки **(К3)**. – 2023. – № 4-2. – С. 118-121. – DOI 10.37882/2223-2966.2023.04-2.28.

### **Публикации в изданиях, входящих в Scopus, Web of Science**

5. Selyutin, A. Models and Algorithms for Analysis the Software Quality of the System of Automatic Segmentation and Pathology Analysis of the Lumbar Spine MRI Images / A. D. Selyutin, V. A. Kushnikov, A. S. Bogomolov [et al.] // Software Engineering Perspectives in Systems : Proceedings of 11th Computer Science On-line Conference 2022, Zlin. – Zlin: Springer Nature Switzerland AG, 2022. – P. 443-453. – DOI 10.1007/978-3-031-09070-7\_37.

6. Selyutin, A. Models, Algorithms and Software Complexes for Operational Monitoring of the Software Quality of the Compressor Station of an Industrial Enterprise / Korobevnikov I., Selyutin A. and Kushnikova E. // 15th International Conference Management of large-scale system development (MLSD). – Moscow. – Russian Federation. – 2022. – pp. 1-5. – DOI 10.1109/MLSD55143.2022.9934446.

7. Selyutin, A. Development of a Predictive Multilayer Perceptron for Quality Analysis of an ERP Systems / Rezhnikov A., Selyutin A., Bogomolov A. and O. Kushnikov // 16th International Conference Management of large-scale system development (MLSD). – Moscow. – Russian Federation. – 2023. – pp. 1-3. – DOI 10.1109/MLSD58227.2023.10303871.

8. Selyutin, A. System Dynamic Model for Evaluating the Information Modules Quality of ERP-Systems / Kushnikov V., Selyutin A. and Antipin S. // 17th International Conference on Management of Large-Scale System Development (MLSD). – Moscow. – Russian Federation. – 2024. – pp. 1-4. – DOI 10.1109/MLSD61779.2024.10739587.

### **Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ**

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023619757 Российская Федерация. Информационная система оценки качества программного обеспечения : № 2023615664 : заявл. 28.03.2023 : опублик. 16.05.2023 / А. Д. Селютин, В. А. Кушников; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр Российской академии наук».

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024664003 Российская Федерация. Программное обеспечение для оценки качества информационных модулей ERP-систем : № 2024663012 : заявл. 10.06.2024 : опублик. 14.06.2024 / А. Д. Селютин, А. С. Богомолов, В. А. Кушников; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр Российской академии наук».

### **Монография**

11. Математические модели и методы анализа выполнимости планов управления сложными системами в условиях критических комбинаций событий / А. Ф. Резчиков, В. А. Кушников, А. С. Богомолов, А. Д. Селютин [и др.]. – Саратов: Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, 2023. – 128 с. – ISBN 978-5-292-04823-7.

### **Публикации в других научных изданиях**

12. Селютин, А. Д. Моделирование системы повышения качества программного обеспечения с использованием модели ISO 9126 / А. Д. Селютин, М. А. Большелатов, Е. П. Зайцев // Проблемы управления в социально-

экономических и технических системах : материалы XVII Международной научно-практической конференции, Саратов, 08–09 апреля 2021 года. – Саратов: ИЦ «Наука», 2021. – С. 177-187.

13. Селютин, А. Д. Оценка моделей качества свободного программного обеспечения на соответствие стандарту ISO 25010 / А. Д. Селютин, В. А. Кушников // Информационные системы и технологии (ИСТ 2023) : труды научно-технической конференции с международным участием, Самара, 19–21 июня 2023 года. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2023. – С. 84-88.

14. Селютин, А. Д. Анализ качества ERP-систем с открытым исходным кодом с использованием модели нечеткого вывода / А. Д. Селютин, В. А. Кушников // Проблемы управления в социально-экономических и технических системах : материалы XIX Международной научно-практической конференции, Саратов, 13–14 апреля 2023 года. – Саратов: ИЦ «Наука», 2023. – С. 654-664.

15. Селютин, А. Д. Роль анализа качества ERP-систем в управлении рисками в финансовой сфере / А. Д. Селютин, В. А. Кушников // Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками. – 2023. – № 8. – С. 126-130.

16. Селютин, А. Д. Количественный анализ качества ERP-систем / В. А. Кушников, А. С. Богомолов, А. Д. Селютин // Естественные и технические науки. – 2024. – № 4(191). – С. 166-170. – DOI 10.25633/ETN.2024.04.02.

17. Селютин, А. Д. Модель системной динамики для оценки качества ERP-систем / А. Ф. Резчиков, В. А. Кушников, А. С. Богомолов, А. Д. Селютин // XIV Всероссийское совещание по проблемам управления, Россия, Москва, ИПУ РАН, 17-20 июня 2024 г.

Подписано в печать 10.10.2025

Формат 60×84 1/16

Бум. офсет.

Усл. печ. л. 1,0

Уч.-изд. л. 1,0

Тираж 100 экз.

Заказ 37

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

410054, Саратов, ул. Политехническая, 77

Отпечатано в Издательстве СГТУ имени Гагарина Ю.А.

410054, Саратов, ул. Политехническая ул., 77

Тел.: 8(8452) 99-87-39, e-mail: izdat@sstu.ru