

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора САЕНКО Игоря Борисовича
на диссертационную работу Мустафаевой Мерьем Ибраимовны
«Модели поддержки принятия решений по повышению
производительности критических баз данных», представленную
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

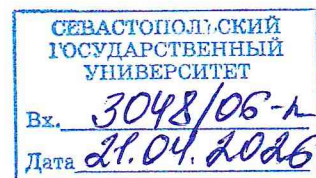
Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Мустафаевой М.И. посвящена решению важной научно-технической задачи – повышению производительности критических баз данных (КБД) в условиях высоких динамических нагрузок. В эпоху цифровой трансформации отраслей, критически важных для безопасности и жизнеобеспечения (оборона, транспорт, энергетика, связь), надежность и скорость обработки данных в информационных системах становятся факторами первостепенной значимости. Особую остроту проблема приобретает в контексте взаимодействия с беспилотными аппаратами (БПЛА/БТС), где потоки данных (телеметрия, видео, координаты) носят интенсивный и зачастую непредсказуемый характер.

Существующие методы оптимизации часто рассматривают отдельные аспекты производительности (структурные, программные или аппаратные) и недостаточно учитывают совокупное влияние архитектурных, вычислительных, сетевых и случайных факторов. В связи с этим, разработка комплексного подхода, включающего полимодельное представление, многокритериальную оптимизацию и гибридные численные методы для управления производительностью КБД, является актуальной и имеет существенное значение для развития теории и практики математического моделирования информационных систем.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (113 наименований) и трех приложений. Работа изложена на 160 страницах, содержит 39 рисунков и 11 таблиц, что полностью отражает ход и результаты исследования.



Во введении обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, а также положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен глубокий анализ предметной области. Автором классифицированы отрасли применения КБД, детально рассмотрены существующие подходы к повышению производительности: структурные (денормализация), программные (оптимизация запросов), аппаратные и организационные (СППР). Выявлены «узкие места» реляционных баз данных при обработке сложных запросов (вида JOIN и BLOB) в высоконагруженных системах. Обоснован выбор беспилотных технологий (БПЛА/БТС) в качестве ключевой области для практической апробации результатов, что задает четкий вектор дальнейшему исследованию.

Во второй главе представлена теоретическая основа исследования. Предложена иерархическая модель временных затрат (T_{query} , $T_{interaction}$, $T_{structural}$, $T_{physical}$), что позволило формализовать многоуровневый характер задержек в системах «БПЛА-ДЦ (диспетчерский центр)». Выполнена формализованная постановка задачи многокритериальной оптимизации запросов с использованием Парето-подхода. Ключевым результатом главы является разработка полимодельного комплекса, интегрирующего аналитические, имитационные и функциональные (построена модель бизнес-процессов в нотации BPMN) модели. Такой комплексный подход, учитывающий как технические параметры, так и логику бизнес-процессов, является несомненным достоинством работы.

В третьей главе представлена реализация имитационной модели в среде AnyLogic. Модель учитывает категоризацию транзакций (по типам запросов к КБД: SELECT, JOIN, BLOB), различные конфигурации серверов и каналов связи. Полученные результаты (распределение времени обработки, длины очередей) наглядно демонстрируют нелинейный рост времени ответа при увеличении нагрузки и сложности запросов, а также подтверждают эффективность предложенного подхода к имитационному моделированию для прогнозирования производительности.

Четвертая глава посвящена разработке гибридного численного метода, сочетающего алгоритм ветвей и границ для глобального поиска и нейросетевую модель (многослойный персептрон) для прогнозирования производительности. Предложена архитектура метода, программная реализация на Python с использованием PyTorch, а также интеграция метода в контур системы поддержки принятия решений. Результаты апробации

(снижение функции потерь на 78%, $MSE = 0,0039$) подтверждают эффективность и сходимость предложенного гибридного подхода.

В пятой главе приведены результаты экспериментальных исследований. Подтверждено существенное влияние типа операции JOIN на производительность (различие во времени выполнения между INNER и FULL JOIN достигает 43,9% для 500 записей). Экспериментально доказана эффективность разработанных моделей и СППР на примерах мониторинга сельскохозяйственных угодий (лавандовое поле) и транспортного обслуживания парково-рекреационной зоны («Парк Победы»). Приведены данные о сокращении времени выполнения сложных запросов на 27-55% и повышении общей производительности системы на 9-15%. Проведено обоснование экономической эффективности предложенных решений.

В заключении сформулированы основные итоги работы, подтверждающие достижение поставленной цели и решение всех сформулированных задач.

Приложения содержат листинги SQL-запросов для создания схемы БД, фрагменты кода Python для гибридного метода и акты внедрения, что подтверждает практическую реализацию результатов.

Научная новизна диссертационного исследования

1. Разработан полимодельный комплекс, который в отличие от существующих решений объединяет структурные (денормализация), программные (индексация) и имитационные модели в единую сценарную структуру. Это позволяет формализовать представление данных и создать инструментальную основу для анализа КБД в условиях динамических нагрузок.

2. Получила дальнейшее развитие многокритериальная математическая модель оптимизации запросов (вида JOIN и BLOB), которая, в отличие от аналогов, базируется на иерархическом представлении времени выполнения и учитывает как эндогенные (ресурсы, сложность схемы), так и экзогенные (шумы, случайные возмущения) факторы. Это позволило реализовать сценарный подход к адаптивному выбору стратегий запросов в системах «БПЛА/БТС – диспетчерский центр».

3. Впервые предложен гибридный численный метод, комбинирующий метод ветвей и границ для глобального поиска с нейросетевой моделью для прогнозирования времени выполнения запросов.

Данный метод эффективно решает многопараметрические задачи настройки КБД в условиях неопределенности, что подтверждено экспериментально.

4. На основе разработанных моделей и методов создан комплекс программ в составе СППР, обеспечивающий автоматическое регулирование нагрузок КБД в реальном времени для повышения надежности информационного взаимодействия в системах «БПЛА/БТС – диспетчерский центр».

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность полученных результатов обеспечивается:

- корректным использованием апробированных методов математического и имитационного моделирования, теории оптимизации и машинного обучения;
- согласованностью теоретических выводов с результатами вычислительных экспериментов и испытаний на реальных данных;
- внедрением разработанных моделей и программного комплекса в учебный процесс ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» и в деятельность ООО "Крым Диджитал", что подтверждено соответствующими актами;
- апробацией основных положений работы на авторитетных международных и всероссийских конференциях, а также публикациями в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК.

Практическая значимость результатов

Практическая ценность диссертации заключается в создании действующего программного комплекса и методического аппарата, позволяющих:

- повысить производительность и надежность взаимодействия беспилотных аппаратов с диспетчерскими центрами;
- обеспечить эффективное регулирование нагрузок на КБД в реальном времени;
- сократить время выполнения сложных запросов (например, JOIN) благодаря предложенному проактивному сценарному управлению их оптимизацией в рамках миссий, общее время обработки сценариев сократилось при этом на 18-22%;

– прогнозировать пиковые нагрузки и выявлять узкие места в информационном взаимодействии объекта (БПЛА/БТС) и КБД-ДЦ.

– Результаты работы могут быть тиражированы для широкого круга задач в телекоммуникациях, логистике, мониторинге и других отраслях, где используются критически важные базы данных.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат диссертации Мустафаевой М.И. в полной мере отражает основное содержание, структуру и логику проведенного исследования. В нем четко сформулированы цель, задачи, научная новизна и практическая значимость работы, а также положения, выносимые на защиту. Приведенные в автореферате сведения о методике исследований, основных результатах экспериментальной апробации и выводах полностью соответствуют тексту диссертации. Оформление автореферата отвечает установленным требованиям, а его содержание дает целостное представление о выполненной научно-квалификационной работе. Публикации автора (8 работ, в том числе 4 в журналах из перечня ВАК и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ) с достаточной полнотой освещают основные научные результаты диссертации.

Общая оценка качества и новизны исследования

Следует отметить, что в рамках диссертационного исследования, по сути, создан подход к проактивному сценарному управлению оптимизацией запросов в рамках миссий беспилотных транспортных средств (БТС) и летательных аппаратов (БПЛА). В отличие от традиционных реактивных подходов, реагирующих на уже возникшую перегрузку, предложенный соискателем механизм обладает следующими признаками проактивности:

1. Сценарное прогнозирование: разработанный полимодельный комплекс (глава 2) и имитационная модель (глава 3) позволяют не просто констатировать текущее состояние системы, а моделировать различные сценарии развития миссии (например, появление сложных участков дороги для БТС или зон пожара для БПЛА-пожарного) и заранее оценивать их влияние на нагрузку КБД.

2. Адаптивный предиктивный выбор стратегии: гибридный численный метод на основе нейросетевого прогнозирования (глава 4) дает возможность предсказывать время выполнения различных типов запросов

(JOIN, BLOB, EXPORT, UPDATE) еще до их фактического исполнения. Это позволяет системе поддержки принятия решений упреждающе выбирать оптимальную стратегию обработки данных (тип соединения, политику кэширования) в соответствии с текущим этапом и целями миссии БТС, а не постфактум реагировать на падение производительности.

3. Динамическая адаптация к миссии: экспериментально подтверждено (глава 5), что для различных типов миссий (транспортное обслуживание парково-рекреационной зоны, сельскохозяйственный мониторинг) система способна автоматически подстраивать параметры обработки запросов. Например, для задач БТС, критичных ко времени ($T_{\max} \approx 50$ мс), приоритет отдается минимизации задержки, что реализуется через выбор соответствующих планов запросов.

Таким образом, предложенный подход выводит управление производительностью КБД на качественно новый уровень – от реактивного администрирования к проактивному сценарному управлению, интегрированному в жизненный цикл миссий беспилотных аппаратов.

Замечания по диссертационной работе

1. В главе 2, при описании полимодельного комплекса, не в полной мере раскрыты механизмы обратной связи и согласования результатов между аналитической и имитационной моделями. Не вполне ясно, каким образом результаты имитационного эксперимента влияют на корректировку параметров аналитической модели оптимизации.

2. Не вполне понятно ясно, насколько предложенный гибридный метод, основанный на использовании нейросети и метода «ветвей и границ», чувствителен к объемам данных. Хотелось бы увидеть оценку сходимости при большем числе оптимизируемых параметров (например, при 20–30).

3. Из текста работы (глава 4) не до конца ясно, как осуществлялось обучение нейросетевой модели и как часто требуется ее переобучение.

4. В работе приведены результаты точности прогнозирования на тестовой выборке, но не обсуждается вопрос устойчивости этих показателей при долговременной эксплуатации системы и возможные стратегии адаптивного дообучения модели в реальных условиях.

5. В экспериментальной части (глава 5) приведены результаты для объемов данных до 4000 записей. Было бы полезно обсудить масштабируемость полученных оценок и эффективность предложенных

методов для баз данных с более серьезным объемом, что является типичным для реальных критических систем.

6. В тексте диссертации имеются отдельные стилистические погрешности, неточности и опечатки, в целом, не влияющие общее понимание материала.

Указанные замечания носят рекомендательный и уточняющий характер и не снижают общей хорошей оценки диссертационной работы.

Заключение о соответствии диссертации требованиям ВАК для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата наук

Диссертационная работа Мустафаевой Мерьем Ибраимовны «Модели поддержки принятия решений по повышению производительности критических баз данных» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена актуальная научная задача разработки комплекса моделей, методов и программных средств для поддержки принятия решений по повышению производительности критических баз данных в условиях динамических нагрузок и неопределенности.

Работа соответствует требованиям п.п. 9, 10, 11 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации N 842, а ее автор, Мустафаева Мерьем Ибраимовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки).

Официальный оппонент:

главный научный сотрудник лаборатории проблем компьютерной безопасности СПб ФИЦ РАН, доктор технических наук, профессор

Саенко Игорь Борисович

Даю согласие на сбор, обработку и хранение персональных данных

«24» марта 2026 г.

Подпись руки

Саенко И.Б.

Начальник отдела кадров СПб ФИЦ РАН

«24» марта 2026 г.

