АННОТАЦИЯ

на диссертационную работу по теме: «Исследование отказоустойчивых алгоритмов для надежной обработки информации» на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D06103 – «Компьютерные науки» Жанузаков Мухит Бауржановичом

Актуальность.

Увеличение сложности вычислительных систем приводит к повышению риска отказов. Существующие алгоритмы отказоустойчивости часто страдают от проблем масштабируемости, высокой вычислительной нагрузки или ограниченной адаптивности к различным сценариям отказов. Данное исследование направлено на разработку и оценку алгоритмов, преодолевающих эти ограничения и обеспечивающих надежные решения для обработки информации.

В современной бизнес-среде влияние цифровизации на предприятия является трансформирующим фактором. Интеграция цифровых технологий, таких как искусственный интеллект, Интернет вещей и аналитика данных, в деятельность организаций приводит к повышению эффективности, инновационности и конкурентоспособности. Однако данный переход сопровождается такими трудностями, как согласованность данных, безопасность, конфиденциальность и необходимость наличия цифрово компетентных кадров. Данная диссертация направлена на предоставление точных выводов о стратегических компонентах цифровизации компаний на основе анализа кейсов и тенденций. Понимание этих аспектов критически важно для компаний, переходящих к цифровой трансформации, и обеспечения долгосрочного развития и конкурентоспособности в условиях динамичной бизнес-среды.

Значимость отказоустойчивости заключается в снижении рисков, связанных с отказами систем, обеспечении непрерывности работы и защите критически важных данных. Масштабируемость, в свою очередь, необходима для обработки увеличивающихся нагрузок и поддержания оптимальной производительности по мере развития предприятий.

При сбое физического сервера приложения, работающие на нем, становятся недоступными. Если приостановленные приложения не будут быстро восстановлены, организации понесут потери доходов и репутации. В связи с этим важно разрабатывать приложения с учетом устойчивости, чтобы сократить время простоя и обеспечить пользователям практически непрерывный сервис. Способность системы продолжать функционировать при наличии отказов или ошибок определяет ее устойчивость к сбоям. Методы устойчивости к сбоям обнаруживают и устраняют ошибки, обеспечивая функционирование системы в соответствии с ее поведением до отказа.

В данном контексте включение механизмов устойчивости в серверные приложения является критически важным для обеспечения непрерывного и согласованного пользовательского опыта. Такие системы должны обеспечивать согласованность данных, предотвращать их потерю

и восстанавливаться после аппаратных или программных сбоев.

Целью данного исследования является разработка и анализ методов отказоустойчивой обработки информации для распределенных систем, в частности корпоративных серверов, минимизирующих накладные расходы при отсутствии отказов и обеспечивающих быстрые и надежные алгоритмы отката-восстановления за счет оптимального интервала контрольных точек.

Задачи исследования:

1. Исследование алгоритмов отказоустойчивости для надежной обработки информации
2. Разработка модельного решения и проектирование алгоритма вычисления интервала контрольных точек для отказоустойчивого алгоритма отката-восстановления в распределенных корпоративных системах
3. Разработка и реализация алгоритма вычисления интервала контрольных точек на основе теории массового обслуживания
4. Реализация и тестирование алгоритмов отката-восстановления на основе контрольных точек в реальных распределенных корпоративных системах

Методы исследования: Теоретический анализ алгоритмов отказоустойчивости; моделирование распределенных корпоративных систем; разработка и тестирование алгоритмов отказоустойчивости отката-восстановления.

Предмет исследования: Алгоритмы отказоустойчивости для надежной обработки информации

Объект исследования: Распределенные системы, корпоративные информационные системы

Научная новизна полученных результатов:

Новизна исследования заключается в разработке новых и оптимизированных решений для вычисления интервала контрольных точек для алгоритма отката-восстановления, включая:

1. Первая реализация оптимального интервала контрольных точек для алгоритма отката-восстановления на основе теории массового обслуживания;
2. Модельное решение для вычисления интервала контрольных точек в отказоустойчивых алгоритмах отката-восстановления в распределенных корпоративных системах

Положение, выносимое на защиту:

Разработка новых моделей и алгоритмов для вычисления оптимального интервала контрольных точек для отказоустойчивого алгоритма отката-восстановления в распределенных корпоративных системах. Разработка и применение алгоритма вычисления оптимального интервала контрольных точек на основе теории массового обслуживания, который продемонстрировал доступность системы до 96,27% и повышение общей эффективности системы примерно на 3–4% по сравнению с традиционными алгоритмами.

Практическая значимость исследования: В работе разработаны алгоритмы надежной обработки информации в распределенных

корпоративных системах. Расширены существующие теории механизмов отката-восстановления за счет введения подходов к вычислению оптимального интервала контрольных точек при различных нагрузках и частоте отказов. Разработанные алгоритмы реализованы и протестированы как в моделируемых, так и в приближенных к реальным распределенных системах, что подтверждает практическую значимость работы.

Научно-техническая значимость исследования: Научно-техническая значимость заключается в разработке усовершенствованных алгоритмов отказоустойчивости, повышающих надежность и эффективность распределенных корпоративных систем. Предложен новый подход к вычислению оптимального интервала контрольных точек на основе теории массового обслуживания, улучшающий баланс между производительностью системы и скоростью восстановления. Расширены существующие теоретические модели за счет учета динамических параметров системы, таких как нагрузка и частота отказов. С технической точки зрения предложенные алгоритмы снижают вычислительные затраты и обеспечивают быстрое восстановление при отказах. Реализованные решения демонстрируют высокую доступность системы (до 96,27%) и улучшенную эффективность по сравнению с традиционными методами. В целом исследование предоставляет как теоретические разработки, так и практические инструменты для построения устойчивых и масштабируемых цифровых инфраструктур.

Надежность научных результатов:

Достоверность результатов обеспечивается интеграцией теоретических, аналитических и экспериментальных подходов к исследованию отказоустойчивой обработки информации в распределенных корпоративных системах. Исследование основано на устоявшихся принципах отказоустойчивости, механизмах отката-восстановления и теории массового обслуживания, что обеспечивает надежную методологическую основу предложенных решений. Были разработаны и всесторонне оценены два алгоритма — эмпирическая модель и оптимальный алгоритм на основе теории массового обслуживания, что позволило провести комплексный сравнительный анализ. Эксперименты проводились как в виртуализированных, так и в физических средах, обеспечивая воспроизводимость результатов и их соответствие реальным условиям эксплуатации.

Согласованность и валидность результатов подтверждаются детальной оценкой производительности по ключевым метрикам системы, включая пропускную способность, среднее время обслуживания, доступность системы и общую эффективность. Сравнительный анализ показывает стабильное и предсказуемое поведение алгоритмов при различных нагрузках и сценариях отказов. В частности, алгоритм на основе теории массового обслуживания продемонстрировал более высокую доступность (до 96,27%) и эффективность (до 66,84%), что подтверждает его надежность и эффективность. Повторяемость экспериментов и контролируемое варьирование параметров дополнительно подтверждают устойчивость результатов.

Кроме того, практическая реализация предложенных алгоритмов в

распределенных корпоративных средах подтверждает их применимость и эффективность в реальных условиях. Результаты показывают, что разработанные методы обеспечивают быстрое восстановление, минимизируют потери на перерасчет и поддерживают непрерывность сервисов при отказах. Включение элементов искусственного интеллекта и больших данных для оптимизации корпоративных процессов дополнительно повышает надежность подхода. Таким образом, сочетание теоретического обоснования, экспериментальной проверки и практической реализации подтверждает высокую достоверность результатов исследования.

Связь темы с научно-исследовательскими программами:

Диссертация выполнена в рамках научного проекта AP09259208 «Разработка масштабируемой отказоустойчивой информационной системы для цифровизации предприятий с использованием технологий Big Data» (0121RK00369)

Структура и содержание диссертации:

Диссертация состоит из введения, трех основных разделов, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 99 страниц, включая 43 рисунка, 23 таблицы и 40 формул. Список литературы содержит 101 источник.

Во введении обоснована актуальность темы, определены цели и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость и методы исследования.

Первая глава содержит обзор научных работ и детальный анализ алгоритмов отказоустойчивости и балансировки нагрузки, а также определяет исследовательский пробел и задачи проектирования.

Во второй главе описаны разработанные алгоритмы вычисления оптимального интервала контрольных точек для метода отката-восстановления, включая теоретическое обоснование и проектирование алгоритмов.

В третьей главе представлена реализация и тестирование разработанных алгоритмов в моделируемых и приближенных к реальным корпоративных средах, а также проведен сравнительный анализ с традиционными алгоритмами.

В заключении изложены основные результаты и выводы диссертационного исследования.

Публикации по результатам исследования:

Результаты исследования обсуждались на научных семинарах кафедры компьютерных наук КазНУ им. аль-Фараби, а также на семинарах с участием зарубежного научного руководителя и представлены на международных конференциях:

1. Balakayeva G., Zhanuzakov M., Darkenbayev D. Comparative analysis of fault tolerance algorithms for fault handling during digitalization of enterprises // Lecture Notes in Networks and Systems. – London: Springer, 2026.

2. Balakayeva G., Nurlybayeva K., Zhanuzakov M. Development of software complex for digitalization of enterprise activities // International Journal of Electrical and Computer Engineering. – 2023. – Vol. 17, No. 12. – P. 315–318.

Статьи, опубликованные в издании, рекомендованном Комитетом по обеспечению качества в области науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан:

1. Zhanuzakov M., Balakayeva G., Ezhilchelvan P. Model based solution for computing checkpointing interval for fault-tolerant rollback-recovery in enterprise servers // Journal of Problems in Computer Science and Information Technologies. – 2025. – Vol. 3, No. 1. – P. 25–33. – DOI: 10.26577/jpcsit20253103.

2. Zhanuzakov M., Balakayeva G. A comparative study of load-balancing algorithms for reliability of enterprise information systems // Bulletin of Abai KazNPU. Series of Physical and Mathematical Sciences. – 2024. – Vol. 87, No. 3. – P. 146–153. – DOI: 10.51889/2959-5894.2024.87.3.012.

3. Zhanuzakov M., Balakayeva G. Prediction of employee promotion based on ratings using machine-learning algorithms // Bulletin. Series Physical and Mathematical Sciences. – 2022. – DOI: 10.51889/2022-1.1728-7901.14.

Научные статьи в журналах, индексируемых в базе данных Scopus:

1. Balakayeva G., Zhanuzakov M., Kalmenova G. Development of a digital employee rating evaluation system (DERES) based on machine learning algorithms and 360-degree method // Journal of Intelligent Systems. – 2023. – Vol. 32, No. 1. – Art. 20230008. – DOI: 10.1515/jisys-2023-0008.

2. Balakayeva G., Zhanuzakov M., Zhapbasbayev U., Nurlybayeva K. An intelligent enterprise system with processing and verification of business documents using big data and AI // Journal of Intelligent Systems. – 2025. – Vol. 34, No. 1. – Art. 20240446. – DOI: 10.1515/jisys-2024-0446.

3. Balakayeva G., Darkenbayev D., Zhanuzakov M. Development of a software system for predicting employee ratings // Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska. – 2023. – Vol. 13, No. 3. – P. 121–124. – DOI: 10.35784/iapgos.3723.