

ОТЗЫВ НА АВТОРЕФЕРАТ

диссертационной работы Ляхова Павла Алексеевича «Методы высокопроизводительной цифровой обработки сигналов на основе вычислений в системе остаточных классов», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.5 - «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей»

Актуальность представленной работы обусловлена противоречием, сложившимся в современной вычислительной технике. С одной стороны, задачи искусственного интеллекта, компьютерного зрения и, в частности, медицинской визуализации (обработка 3D-томограмм, МРТ, КТ) требуют обработки колоссальных массивов многомерных данных в режиме жесткого реального времени. С другой стороны, традиционные вычислительные архитектуры, базирующиеся на позиционных системах счисления (ПСС), исчерпали возможности экстенсивного масштабирования. Фундаментальным ограничением ПСС является последовательное распространение переноса между разрядами, что при увеличении разрядности данных приводит к непропорциональному росту задержек и энергопотребления. В этих условиях система остаточных классов (СОК) перестает быть теоретической альтернативой и становится необходимым архитектурным решением. Ее способность обеспечить истинный параллелизм на арифметико-логическом уровне и устранить межразрядные переносы делает СОК ключевой технологией для создания энергоэффективных, высокопроизводительных и отказоустойчивых специализированных процессоров. Однако историческим «узким местом» СОК оставалась высокая сложность немодульных операций. Диссертация П.А. Ляхова адресно решает эту проблему, что придает работе высокую научную и практическую значимость.

Целью работы является обеспечение требуемого уровня производительности систем цифровой обработки сигналов (ЦОС) при строгом сохранении показателей точности и качества восстановления данных. Это достигается за счет разработки научно обоснованных математических моделей, методов и программного обеспечения для параллельной обработки данных на базе системы остаточных классов, что формирует целостную технологию высокопроизводительных вычислений.

Научная новизна диссертации носит комплексный характер и может быть структурирована по трем ключевым направлениям, каждое из которых представляет собой самостоятельный научный задел:

1. Впервые предложен и аппаратно реализован класс методов выполнения немодульных операций на основе Китайской теоремы об остатках с дробными величинами (КТОД). Это позволяет вычислять позиционные характеристики без полного и ресурсоемкого восстановления двоичного кода, снижая аппаратную сложность в разы по сравнению с классическими подходами.

2. Разработана обобщенная модель ЦОС в СОК, интегрирующая усеченные блоки умножения с накоплением (ТМАС) и блочную обработку данных по методу

Винограда. Это позволяет радикально сократить количество операций умножения (до 72,9%) за счет их замены на операции сложения и масштабирования, что критически важно для вейвлет-преобразований и сверточных нейронных сетей.

3. Разработан оригинальный итерационный алгоритм масштабирования коэффициентов вейвлет-фильтров в СОК. Алгоритм математически гарантирует достижение заданного порога качества (PSNR) при переводе вычислений в формат с фиксированной запятой, предотвращая накопление критических ошибок квантования при многоуровневой декомпозиции медицинских изображений.

4. Достоверность полученных результатов подтверждается строгостью примененного математического аппарата и многоуровневой системой верификации.

Теоретические оценки ресурсозатрат, выполненные с использованием Unit-Gate Model, коррелируют с результатами сквозного аппаратного моделирования. Экспериментальная база исследования исключительно представительна: автор использовал промышленные САПР для FPGA и ASIC, а также специализированное ПО для анализа медицинских изображений. Согласованность результатов, полученных на разных платформах и языках описания аппаратуры, а также их публикация в высокорейтинговых журналах исключают вероятность случайных или артефактных выводов.

Практическая ценность работы выходит за рамки академических исследований и имеет прямое прикладное значение для развития отечественной микроэлектроники и систем ИИ для медицинской ИИ. Разработанные аппаратные ускорители обеспечивают прирост производительности до 58 - 66% при обработке 3D-томограмм и сверточных сетей. Детерминированность вычислений в СОК и встроенная возможность коррекции ошибок делают эти решения идеальными для встраиваемых медицинских систем, где важны не только скорость, но и безопасность, предсказуемость и защита от сбоев. Созданная автором сквозная технология проектирования значительно сокращает время вывода новых модулярных процессоров на рынок. Результаты работы защищены 5 патентами на изобретения и 12 свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ. Методы успешно применены в рамках грантов РНФ, РФФИ и Министерства науки и высшего образования РФ, что свидетельствует о востребованности разработок научным сообществом и индустрией.

Однако, работа не лишена недостатков.

1. В автореферате детально описаны операции сравнения и знака, но не раскрыто, как предложенная технология масштабируется при необходимости динамического расширения разрядной сетки в реальном времени без потери преимуществ параллелизма СОК.

2. В автореферате отмечено, что «чрезмерное масштабирование приводит к возникновению равномерно распределенных видимых искажений... засветлению томограмм» (стр. 18). Однако не указаны количественные границы этого «чрезмерного» масштабирования. Каков максимальный параметр k или минимальная разрядность коэффициентов, при которых артефакты становятся клинически недопустимыми?

Однако, эти недостатки не влияют на результаты диссертационного исследования.

Диссертационная работа П.А. Ляхова представляет собой завершенное, фундаментальное научно-техническое исследование, решающее важную проблему создания высокопроизводительных систем цифровой обработки сигналов. Автореферат соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а соискатель, Павел Алексеевич Ляхов, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.5 – Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей.

Директор «Учебно – научного института информационных технологий» «Приазовского государственного технического университета» – филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Мариуполь

доктор технических наук, профессор

Лаврова Елена Владимировна
«28» сентября 2026 г.

287642, Россия, Донецкая Народная Республика
г. Мариуполь, улица Университетская, 7
Тел.: +7 (949) 083-41-06
E-mail: UNIIT-PSTU@yandex.ru

Я, Лаврова Елена Владимировна, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись Лавровой Е.В. подтверждаю

Врио Начальника отдела кадров

— В.Н. Янышина

28.09.2026

МПК