

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации 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»

В диссертационной работе Ляхова П.А. решена крупная научная проблема, заключающаяся в разработке моделей и методов параллельной обработки данных в системе остаточных классов (СОК) для создания технологии высокопроизводительной цифровой обработки сигналов (ЦОС). Ограничения традиционных позиционных систем счисления создают аппаратное узкое место при обработке многомерных сигналов в режиме реального времени. В этих условиях разработка методов высокопроизводительной ЦОС на основе СОК обладает высокой научной и практической значимостью, так как позволяет существенно снизить аппаратные затраты и повысить скорость вычислений при реализации нейросетевых и вейвлет-преобразований.

Научная новизна работы заключается в системном объединении четырех взаимодополняющих механизмов: параллельной модулярной арифметики, блочной обработки данных методом Винограда, немодульных операций на основе дробных величин и масштабирования коэффициентов фильтров. Данное объединение в рамках единой обобщенной модели представляет собой оригинальный и научно обоснованный вклад в теорию вычислительных систем. Особо следует отметить разработку методов немодульных операций на основе аппарата дробных величин, обеспечивающих логарифмическую вычислительную сложность вместо линейной, что устраняет одно из ключевых ограничений практического применения СОК. Представленные в автореферате количественные результаты подтверждают практическую значимость исследования. Снижение вычислительной задержки в 1,3 – 2,6 раз и аппаратных затрат в 1,7 – 4,8 раз при цифровой фильтрации в СОК по сравнению с позиционной системой счисления является существенным результатом. Ускорение дискретного вейвлет-преобразования трехмерных сигналов в 2,89 – 3,59 раз при сохранении качества обработки в терминах пикового отношения сигнала к шуму представляет значительный интерес для приложений медицинской

визуализации. Повышение производительности нейросетевой обработки визуальных данных на 58,89 % при реализации сверточных вычислений в модульном коде на программируемых вентильных матрицах также является практически значимым результатом.

Соискатель ученой степени доктора наук корректно и на высоком математическом уровне использует методы теории чисел, модулярной арифметики и системного анализа. Достоверность результатов подтверждена строгими математическими доказательствами и верификацией в современных САПР. Основные результаты исследований Ляхова П.А. опубликованы в ведущих рецензируемых журналах перечней ВАК, *Scopus*, *Web of Science*, представлены в монографиях и защищены патентами, а высокий индекс цитирования *h-index* свидетельствует о фундаментальности и широком международном признании работы.

К имеющимся замечаниям работы соискателя можно отнести следующее. Во-первых, при оценке качества обработки трехмерных медицинских томограмм в качестве основной метрики используется пиковое отношение сигнала к шуму *PSNR*. Однако в современных задачах медицинского компьютерного зрения известно, что *PSNR* не всегда адекватно коррелирует с клинической и диагностической ценностью изображения. Во-вторых, в части нейросетевой обработки основное внимание уделено классическим сверточным нейронным сетям. В современных задачах анализа сложных медицинских изображений все чаще применяются архитектуры на основе механизма внимания и гибридные модели, вычислительный профиль которых существенно отличается от классической свертки. Адаптация предложенных методов блочной обработки для ускорения операций самовнимания является перспективным направлением, но в работе не освещена. В-третьих, в тексте автореферата недостаточно подробно раскрыты вопросы адаптации разработанных архитектур для вычислений смешанной точности и форматов с плавающей запятой пониженной разрядности, что ограничивает область их применения в современных глубоких сетях.

Однако указанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей научной и практической ценности работы, выполненной, на высоком теоретическом и методическом уровне. Результаты исследования могут быть использованы при создании высокопроизводительных систем цифровой обработки одномерных и многомерных сигналов в таких областях,

как медицинская диагностика, телемедицина, системы компьютерного зрения и искусственного интеллекта.

Работа соискателя Ляхова Павла Алексеевича является завершенным докторским исследованием, соответствующим требованиям ВАК РФ, а также требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» № 842, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. (в ред. от 25.01.2024 г.). Соискатель заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.5 «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

Доктор технических наук, доцент,
и.о. заведующего кафедрой
«Радиотехника и радиоэлектронные системы»,
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный
университет», г. Пенза

Алимурадов Алан Казанферович
«16» сентября 2026 г.

440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
Тел.: +7 (964) 872-02-43
E-mail: alansapfir@yandex.ru

Я, Алимурадов Алан Казанферович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.