

УДК 681. 03

В.А. Краснобаев<sup>1</sup>, М.А. Маврина<sup>1</sup>, С.А. Кошман<sup>2</sup>, В.Н. Курчанов<sup>1</sup><sup>1</sup> Полтавский национальный технический университет имени Ю. Кондратюка, Полтава<sup>2</sup> Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка, Харьков

## КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОДОВ КЛАССА ВЫЧЕТОВ

*Рассмотрена концепция создания компьютерных средств обработки данных (КСОД) на основе использования непозиционной системы счисления в классе вычетов. Принятие данной концепции позволит создать отказоустойчивые и быстродействующие КСОД реального времени.*

**Ключевые слова:** компьютерные средства обработки данных, класс вычетов, пользовательская производительность, отказоустойчивость, надежность.

### Введение

23 – 25 ноября 2005 года научная общественность России, Белоруссии, Казахстана, Украины, Южной Кореи, Индии и США отметила 50-летие Модулярной арифметики специальной юбилейной Международной научно-технической Конференцией "50 лет модулярной арифметике", проведенной в два этапа [1].

*Первый этап.* Заочная Internet-конференция в период март – ноябрь 2005 г., материалы этого этапа представлены в Internet на сайтах МИЭТ <http://www.mocnit.miee.ru/oroks22W/> и Виртуального компьютерного музея <http://www.computer-museum.ru/histussr/sokconf0.htm>.

*Второй этап.* Завершающая Очная конференция в Зеленограде 23 – 25 ноября 2005 г.

#### Учредителями конференции являются:

– Московский государственный институт электронной техники (технический университет) (МИЭТ), Зеленоград,

– ОАО "Ангстрем", Зеленоград;

– институт проблем проектирования в микроэлектронике (ИППМ) РАН, Зеленоград,

– научно-производственный центр ГУП СПУРТ, Зеленоград;

– институт математики НАН РК, Алма-Ата, Казахстан;

– еженедельник PC-Week RE и Виртуальный компьютерный музей при нем, Москва;

– научно-исследовательский институт прикладных физических проблем им. А.Н.Севченко, Республика Беларусь;

– научно-внедренческая фирма «Криптон», г. Киев, Украина;

– Computer Algorithm & Program Development Corp, New York, USA.

Заслушав и обсудив выступления ученых об итогах 50-летнего развития модулярной арифметики (МА), проведя завершающую дискуссию об ее состоянии и перспективах развития Конференция «50 лет Модулярной арифметике» констатирует следующее.

За прошедшие годы лет в развитии МА достигнуты значительные результаты. На первом этапе наибольшие успехи в становлении и применении МА были достигнуты в СССР под руководством И.Я. Акушского и Д.И. Юдицкого. Возглавляемыми ими коллективом ученых и инженеров были созданы ЭВМ в КВ ("К 340", "К 340А", "АЛМАЗ" и пр.). По производительности и надежности они превосходили все отечественных и зарубежных аналоги современников. В частности, разработанная ЭВМ К-340А выпускались в серийном производстве. Они до сих пор (более 50 лет) работают на объектах оборонного значения, демонстрируя свою высокую надежность. Однако по причинам, не имеющим ничего общего с научными, техническими или экономическими соображениями, в первой половине семидесятых годов работы по созданию модулярных ЭВМ с СССР в административном порядке были прекращены. Сам факт прекращения работ, при полном отсутствии информации об его истинных причинах, сыграл негативную роль в развитии МА в стране. Центры дальнейших работ по МА переместились из промышленных институтов, имеющих свои производства и работающих по заказам для обеспечения вычислительной техникой мощных радиоэлектронных систем специального назначения, переместились в академические и учебные институты, в сферу чисто теоретических исследований. Дальнейшие попытки создания реальных вычислительных устройств на основе класса вычетов (КВ) подавлялись чиновниками, имевшими некоторую информацию о прекращении работ над модулярными ЭВМ и, не зная истинных причин, делавшими из этого выводы о бесперспективности МА. Однако усилиями энтузиастов модулярная арифметика продолжала развиваться. Были решены основные, базовые теоретические вопросы МА, разработан ее математический аппарат. Получен ряд интересных результатов не только в теоретическом плане, но и в практическом использовании МА. Наблюдается рост интереса к применению КВ в смежных областях науки и техники, требующих наряду с быстрой обработкой информации повышения ее достоверности. Гео-

ретические исследования в ряде стран мира перешли в разряд проблемно-ориентированных: бортовые вычислители, оптические устройства памяти и обработки данных, арифметические ускорители (расширители) для ПЭВМ, помехоустойчивая защита информации, разрядно-аналоговые моделирующие ЭВМ пр. [1, 2].

За истекший срок модулярная арифметика в КВ сформировалась в самостоятельную научную дисциплину со следующими научно-теоретическими и научно-техническими направлениями и школами:

- теоретические основы модулярной арифметики (школа И.Я. Акушского и Д.И. Юдицкого, Россия);
- вычисления в комплексной плоскости (школа В.М. Амербаева, Казахстан);
- обобщенные системы остаточных классов (школа А.А. Коляды, Беларусь);
- конвейерные модулярные компьютерные структуры (школы А.А. Коляды и И.Т. Пака, Беларусь и Казахстан);
- нейроматематика и модулярные нейрокомпьютеры (школа Н.И. Червякова, Россия);
- теория «безошибочных вычислений» (школа Е. Кришнаури, Индия);
- надежные, отказоустойчивые и живучие модулярные вычислительные структуры (школы В.А. Торгашева и В.А. Краснобаева, Россия и Украина);
- корректирующие свойства КВ (школы Ю.Г. Дадаева и В.А. Торгашева, Россия);
- позиционно-остаточные системы счисления (школа В.Г. Евстигнеева, Россия);
- параллельные логические вычисления на основе модулярных арифметико-логических форм (школа О.А. Финько, Россия);
- комплексные и гиперкомплексные числа в МА (школы С.М. Онищенко, М.В. Синькова, Н.М. Губарени, Украина);
- модулярные вычислительные алгоритмы (школа С.А. Инютинина, Россия).

В итоговом документе конференции отмечается следующее.

*Во-первых.* Класс вычетов по сравнению с позиционными системами счисления обладает следующими существенными преимуществами, а именно:

- возможность распараллеливания вычислений на уровне декомпозиции операндов, что существенно повышает их быстродействие;
- пространственное разнесение элементов данных дает возможность их асинхронной и независимой обработки;
- возможность табличной реализации арифметических операций базового набора и полиномиальных функций с однократной выборкой результата;
- возможность создания цифровых устройств с эффективным обнаружением сбоев и отказов;
- возможность синтеза самокорректирующихся непозиционных кодовых структур;
- возможность контроля и коррекции ошибок в динамике вычислительного процесса путем добавления сравнительно малых резервных вычислительных

блоков, аппаратные затраты которых пропорциональны объему соответствующих табличных вычислителей по малым модулям КВ;

- обеспечение надежности и отказоустойчивости вычислительных структур на основе оперативной реконфигурации структуры вычислителя;
  - обеспечение точных вычислений в целочисленной числовой области;
  - меньшая сложность вычислительных алгоритмов для отдельных классов задач;
  - обеспечение особого свойства структуры модулярного вычислителя, обеспечивающего отсутствие эффекта размножения ошибок вычислений.
- Во-вторых.* К недостаткам КВ следует отнести:
- трудности выполнения известных алгоритмов немодульных операций на современной элементной базе;
  - ограничение сферы эффективности КВ целочисленной арифметикой;
  - сложность сопряжения с двоичной компьютерной индустрией;
  - недостаточная эффективность решаемых классов вычислительных проблем;
  - временная сложность преобразования чисел из позиционной системы в КВ и обратно.

Вместе с тем нельзя не отметить, что при решении таких классов задач, как задачи обработки данных в формате с плавающей запятой и задачи обработка данных с высокой долей логических и немодульных операций применение кодов в КВ вообще не целесообразно.

Использование основных свойств КВ определяет научные направления и классы задач, в которых МА существенно эффективнее позиционной арифметики.

1. Цифровая обработка сигналов.
2. Цифровая обработка изображений.
3. Криптография.
4. Задачи целочисленной арифметики.
5. Обработка больших массивов целочисленных данных.
6. Нейросетевые системы обработки данных.
7. Высокнадёжные самокорректирующиеся цифровые системы обработки данных.
8. Пространственно распределённые высоконнадёжные системы.
9. Системы повышенной производительности.
10. Системы искусственного интеллекта.
11. Кодеки помехозащищённых кодов.
12. Высокоточные ЦАП и АЦП.
13. Реализация быстрого и дискретного преобразования Фурье.

Таким образом, существует целый ряд важнейших для современного уровня развития науки, промышленности, экономики и систем безопасности классов задач, которые на основе КВ могут быть решены значительно эффективнее, чем на традиционных позиционных ЭВМ. Вместе с тем необходимо отметить, что в настоящее время модулярная арифметика развивается, разрабатываются новые методы и алгоритмы выполнения операций, что неуклонно

расширяет сферу эффективности ее применения.

**Цель статьи** – показать возможность дальнейшего повышения эффективности использования кодов КВ для повышения отказоустойчивости функционирования систем и средств обработки дискретной информации без снижения производительности решения задачи.

### Основная часть

Современный этап развития науки и техники обуславливает усложнение решения народнохозяйственных и военных задач. Однако сложность решаемых задач опережает темпы нарастания мощности универсальных и специализированных компьютерных средств обработки данных (КСОД). В этом аспекте, основными направлениями совершенствования вычислительных систем обработки информации в реальном времени является повышение производительности и безотказности функционирования, за счет обеспечения необходимого (заданного) уровня отказоустойчивости.

В зависимости от принятых архитектурных решений, все множество вычислительных систем в позиционных системах счисления (ПСС), как правило, в двоичной, можно разделить на четыре основные группы. Так, применение SISD-архитектуры (одиночный поток команд и одиночный поток данных) обеспечивает доминирующее положение в классической Фон-Неймановской архитектуры. В таких машинах обработка информации происходит последовательно, команды выполняются одна за другой, при этом каждая команда инициирует, как правило, одну скалярную операцию. В этом случае использование параллельной работы интерфейса ввода-вывода информации и процессора, совмещение операций, выполняемых отдельными блоками и узлами арифметико-логического устройства, не позволяют эффективно реализовать параллельные вычислительные системы реального времени. Следовательно, возможности по повышению быстродействию современных позиционных ЭВМ, базирующихся на классической архитектуре последовательного выполнения операторов, практически достигли своего предельного значения. Вычислительные системы второй группы - MISD-архитектуры (множественный поток команд и одиночный поток данных) большой практической реализации не получили; эти задачи, в которых несколько процессоров могли бы эффективно обрабатывать один поток данных, в науке и технике пока неизвестны. Основу третьей группы вычислительных систем составляют устройства, разработанные на основе SIMD-архитектуре (одиночный поток команд и множественный поток данных); использование SIMD-архитектуры позволяет реализовать высокоскоростные ВСОИ реального времени; с их помощью эффективно решаются задачи векторных и матричных вычислений, задачи определения корней систем алгебраических и дифференциальных уравнений и т.п. Особое место занимают задачи цифровой обработки сигналов, которые являются наиболее оптимальными для SIMD – структуры. Данная архитектура вычисли-

тельной системы ориентирована на параллельно-конвейерное выполнение наиболее трудоемких вычислительных операций. Обеспечение предельной для данного уровня технологии производительности вычислительной системы возможно только за счет применения нетрадиционной арифметики, в которой процесс распараллеливания осуществляются на уровне арифметических операций (микроопераций); альтернативным решением проблемы решения задач повышенной вычислительной сложности в реальном времени является применение MIMD-архитектуры (множественный поток команд и множественный поток данных). Этот класс предполагает, что в вычислительной системе есть несколько устройств обработки команд, объединенных в единый комплекс и работающих каждый со своим потоком данных и команд (мультимикропроцессорные, многомашинные, кластерные и другие подобные вычислительные системы). Однако, несмотря на все преимущества, отмеченные выше, такие как, наличие собственной памяти у каждого процессорного элемента и независимость вычислительного процесса, системы с массовым параллелизмом породили целый ряд проблем, связанных с описанием и программированием коммутаций процессов и управления ими. В то же самое время отсутствие математического аппарата, позволяющего решить проблему повышения производительности вычислительных систем, является основным сдерживающим фактором широкого применения MIMD-систем с массовым параллелизмом.

Таким образом, очевидно, что дальнейшее поступательное развитие вычислительной техники и средств обработки информации в ПСС напрямую связано с переходом к параллельным вычислениям. Данный переход открывает новые возможности в области совершенствования и развития вычислительных устройств [3 – 5]. В этом плане резервами повышения пользовательской производительности вычислений являются использования вычислительных структур, специализированных вычислителей и спецпроцессоров, созданных на принципе распараллеливания решаемой задачи (алгоритма) на уровне одной микрооперации.

Концепция параллелизма на уровне выполнения микроопераций давно привлекала внимание специалистов своими потенциальными возможностями повышения производительности и надежности вычислительных систем. Проводимые теоретические, экспериментальные и промышленные разработки в этом направлении позволили обосновать основные принципы построения параллельных вычислительных систем. Именно с подобными системами связывается в настоящее время перспектива дальнейшего наращивания вычислительной мощности и надежности.

Впервые идея применить для операций над целыми числами вместо операций кольца вычетов по модулю  $M=2^n$  операции кольца вычетов по модулю  $M = m_1 m_2 \dots m_n$ , где  $m_1, m_2, \dots, m_n$  – попарно взаимно простые числа, была предложена в статье чешского

инженера М. Валаха. В вычислительной практике это была выдающаяся идея, так как все кольцевые операции по модулю  $M = m_1 m_2 \dots m_n$  сводились к гомоморфной параллельной реализации тех же операций по малым модулям  $m_1, m_2, \dots, m_n$ . Известная китайская теорема об остатках, которая до этого трактовалась как структурная теорема абстрактной алгебры, гарантировала указанный параллелизм в вычислениях над целыми числами, при условии, что результат кольцевых операций принадлежит диапазону целых чисел, определяемому произведением модулей  $M = m_1 m_2 \dots m_n$ . Эта идея привлекла внимание большой группы ученых. Возникло новое научное направление – модулярная арифметика.

Техническая реализация распараллеливания вычислений может осуществляться по-разному. В принципе распараллеливание может быть осуществлено на нескольких уровнях: на уровне программ, на уровне арифметических операций, на уровне обменов информации в вычислительных системах, ввода и вывода данных пр.

Одним из наиболее перспективных направлений в разработке высокоскоростных вычислительных систем является переход к распараллеливанию на уровне арифметических микроопераций. В современных и перспективных алгоритмах, использующих аппарат линейной алгебры, основными вычислительными процедурами являются операции типа перемножения векторов и матриц, обращение матриц, поиска собственных векторов и собственных значений матриц, решение систем линейных алгебраических уравнений и т.п.

Одним из наиболее перспективных направлений решения проблемы повышения отказоустойчивости без снижения пользовательской производительности является переход к вычислениям в нетрадиционной арифметике с нетрадиционным представлением операндов.

Из всего множества нетрадиционных арифметик в вычислительных системах наибольшее применение нашли следующие:

- модулярная арифметика в системе остаточных классов (в классе вычетов);
- коды Фибоначчи;
- арифметика в знакологарифмической системе счисления;
- модулярная комплексная арифметика Гаусса (комплексные, квадриплексные и триплексные числа, кватернионы, бикватернионы и пр.);
- арифметика в кольце полиномов;
- позиционно-остаточная система счисления.

Анализ нетрадиционных арифметик показал, что в настоящее время наибольшее практическое применение нашли вычислительные устройства, использующие непозиционные модулярные коды в КВ. Так применение КВ позволяет максимальным образом провести распараллеливание вычислений – на уровне элементарной операции.

В [2] детально рассмотрено влияние основных свойств (независимость, равноправность и малораз-

рядность остатков, представляющих операнд) КВ на структуру и принципы функционирования системы обработки информации. В частности, показано, что малоразрядность остатков в представлении чисел в модулярной арифметике дает возможность широкого выбора вариантов системотехнических решений при реализации модульных арифметических операций, основанных на следующих принципах: сумматорный принцип (на базе малоразрядных двоичных сумматоров); табличный принцип (на основе использования таблиц ПЗУ); прямой логический принцип реализации арифметических операций, основанный на описании модульных операций на уровне систем переключательных функций булевой алгебры; принцип кольцевого сдвига, основанный на использовании кольцевых регистров сдвига.

Существующая в последние годы в вычислительной технике тенденция к распараллеливанию вычислений связана с непрерывным ростом требований к производительности вычислительных средств. В то же самое время процессоры, составляющие значительную часть аппаратной реализации КСОД, относятся к числу наименее надежных устройств, доля отказов и сбоев которых составляет более 50 процентов от общего числа отказов и сбоев аппаратуры. При этом среднее время ликвидации последствий последних, как правило, на несколько порядков превышает среднюю продолжительность выполнения одной задачи.

Наиболее перспективным путем разрешения данного противоречия является придание процессорам свойства отказоустойчивости. Вычислительная система или КСОД является отказоустойчивой (Fault-tolerant system), если при возникновении отказа она сохраняет свои функциональные возможности в полном (fail-safe) или ограниченном (fail-soft) объеме. При этом отказоустойчивость КСОД обеспечивается эффективным использованием как имеющейся, так и дополнительно введенной избыточности, а также и наличием процедур обнаружения и исправления отказов и сбоев. Fail-safe устойчивость к отказам характеризует способность вычислительной системы обеспечивать обслуживание, несмотря на возникновение отказа, хотя и с понижением качества, то есть находясь в состоянии постепенного снижения эффективности (деградации). Именно в таком контексте будет рассматриваться понятие отказоустойчивости КСОД в КВ.

Свойство отказоустойчивости обеспечивает КСОД возможность выполнения заданных действий, и после возникновения отказов за счет снижения в допустимых пределах каких-либо показателей качества функционирования (например, путем постепенной деградации). Таким образом, учет вышесказанного обуславливает актуальность исследований в сфере разработки методов повышения отказоустойчивости в процессе функционирования высокоскоростных процессоров.

Основным методом, который широко применяется при построении отказоустойчивых вычислительных устройств и систем в ПСС является резерви-

рование. Существует большое количество различных способов резервирования, но для любого из них характерна очень высокая избыточность. Даже при коррекции одиночных ошибок чаще всего приходится увеличивать объем оборудования как минимум в три раза. Столь высокая избыточность объясняется тем, что при применении резервирования практически полностью игнорируются все специфические свойства (если они имеются) конкретной КСОД.

Пусть на этапе проектирования необходимо обеспечить необходимый (заданный) уровень безотказности КСОД. Повышение (обеспечение) надежности, возможно, осуществить в том случае, если КСОД будет обладать определенным свойством, использование которого и позволит это сделать. Такое свойство определено и названо отказоустойчивостью. Под отказоустойчивостью будем понимать свойство КСОД обеспечивать работоспособное состояние при отказах элементов, входящих в ее состав.

При использовании термина отказоустойчивость выделяют три основных аспекта:

- свойство отказоустойчивости закладывается разработчиками при проектировании с целью повышения безотказности КСОД; при этом необходимый уровень отказоустойчивости достигается в основном при использовании избыточных (дополнительных) технических средств (введение искусственной структурной и (или) другой избыточности) по сравнению с минимально необходимыми для выполнения всех требуемых функций КСОД в полном объеме;

- использования свойства отказоустойчивости позволяет сохранить полную или частичную работоспособность КСОД;

- считается, что отказ элементов не связан с воздействием, не предусмотренным условиями эксплуатации.

В большинстве случаев разработчиков интересует факт обеспечения отказоустойчивости только при сохранении полной работоспособности, т.е. без снижения качества функционирования КСОД. В дальнейшем при рассмотрении понятия отказоустойчивости нас будет интересовать только такой случай.

Для придания (обеспечения) КСОД свойства отказоустойчивости при проектировании необходимо предусматривать не только введение и использования искусственной избыточности (ИИ), т.е. использования различных видов резервирования: структурного, информационного, функционального, временного и нагрузочного, но и выявить и использовать возможную естественную (“природно”-имеющуюся) избыточность (ЕИ) систем. В этом плане основная задача проектировщиков по обеспечению необходимого уровня отказоустойчивости состоит в том, чтобы на предпроектных стадиях в процессе исследований выявить (определить) и использовать имеющиеся резервы (ЕИ) КСОД по отказоустойчивости и с обязательным учетом этого и, в дальнейшем, выбирать и применять необходимые методы резервирования (введение ИИ). Эти меры позволяют в конечном итоге сократить (уменьшить) эксплуатационные расходы

на обеспечения необходимого уровня надежности функционирования КСОД в целом.

При исследовании и разработке методов повышения надежности ВСОИ может быть целесообразно и удобно разделить понятия отказоустойчивости на две составляющих, т.е. пользоваться двумя отдельными понятиями: естественная отказоустойчивость (ЕО) и искусственная отказоустойчивость (ИО). Введенные термины ЕО и ИО удобно использовать при анализе и синтезе надежных структур КСОД, так как на наш взгляд эти понятия достаточно полно отражают суть методов повышения надежности.

Предложенная концепция создания отказоустойчивых и быстродействующих КСОД реального времени хорошо согласуется с моделями обработки информации в КВ [6, 7].

Анализ причин, по которым модулярная арифметика, имеющая явные преимущества перед ПСС при решении ряда важнейших вычислительных задач, не получила должного практического применения, показал следующее:

- силовое прекращение работ по созданию модулярных КСОД в СССР стало мощным психологическим фактором на пути развития модулярной арифметики; разработки модулярных КСОД были закрыты в институтах, связанных с промышленностью, в результате, многие из ведущих специалистов прекратили свои работы в этой области, многие перешли в академические и учебные институты, т.е. в сферу чисто теоретических исследований;

- модулярная арифметика нетрадиционная, достаточно сложная математическая дисциплина и трудна для восприятия большинству специалистов в вычислительной технике и в микроэлектронике; в ВУЗах программа для этих специальностей и соответствующая математическая подготовка, как правило, не предусмотрены; о серийно производимых (“К 340”, “К 340А”, “АЛМАЗ” и пр.) и реально существующих и функционирующих модулярных ЭВМ (на строго засекреченных тогда объектах) научной общественности ничего известно не было, а слух о «провале» такого проекта получил широкую огласку, в результате, во многих учебных изданиях модулярная арифметика (как и о троичной системе счисления, кодах Фибоначчи и т.п.) представляется как реально теоретически возможное экзотическое, но малоперспективное направление, отвергнуто реальной практической жизнью; в этом аспекте уже априорно программируется негативное отношение молодых специалистов к разработке и практическому применению модулярной арифметике;

- с появлением микропроцессоров, БИС, СБИС и ПЛИС, наряду с положительным их влиянием на вычислительную технику, превратившим ее из продукции штучного и мелкосерийного производства в продукцию массовую, имеется и негативная сторона этого явления; так, с появлением микропроцессоров многие разработчики ЭВМ были лишены возможности реализации своих новых идей и технических ре-

шений, они попали под диктат производителей микропроцессоров, были вынуждены применять фактически навязанные им стандартные микропроцессоры; в результате во всем мире количество коллективов, разрабатывающих новые ЭВМ, значительно сократилось, развитие вычислительной техники как науки резко затормозилось; за последние годы практически ничего принципиально нового в серийно выпускаемых ЭВМ не появилось, в основном эксплуатируются идеи, рожденные в шестидесятых – семидесятых годах прошлого столетия; остатки вычислительной техники, как науки, с генерацией новых идей и решений, переместились в академические и учебные институты, в область теоретических исследований, что еще более усугубило проблемы развития модулярной арифметики, которая по иным причинам и на несколько лет раньше оказалась в подобном же положении; ситуация изменяется в настоящее время с развитием систем автоматизации проектирования на основе стандартных технологий и библиотек сложных элементов и дезинтеграции процессов создания интегральных схем с введением режимов Fables (разработка в автономных дизайн-центрах) и Foundry (производства по проектам других фирм), однако, для КВ и здесь имеются определенные сложности: требуется создание специальных библиотек, хотя эта задача в научном плане не сложная, но требующая существенных организационных и финансовых затрат;

- в настоящее время существенным тормозом в развитии модулярной арифметики является организационная и информационная разобщенность ученых и инженеров, работающих в этом направлении; действительно, при огромном количестве публикаций по МА, они, как правило, труднодоступны, научные контакты между разрозненными группами специалистов недостаточно развиты, и доступная информация о проводимых исследованиях и результатах отсутствует, никакой координации исследований нет; все это существенно снижает эффективность проводимых работ, не позволяет в полной мере использовать имеющийся научный потенциал для достойного развития модулярной арифметики.

## Выводы

В настоящее время интерес к модулярной арифметике вновь существенно возрос, и это обусловлено двумя основными причинами:

– резко возросшими требованиями к вычислительным ресурсам КСОД в связи с бурным развитием криптографии, новых методов обработки и передачи сигналов и изображений и т.п.;

– развитием современных ПЛИС, а также достижениями систем проектирования в микроэлектронике, предоставившими возможность реализовать технические решения архитектуры КСОД в виде, например, специализированной интегральной схемы.

На основе вышеизложенного материала можно сделать следующий вывод. Существует целый класс задач, важнейших для современного уровня развития науки и техники, промышленности, экономики и обороны. На основе принятия данной концепции использования непозиционной системы счисления в классе вычетов, могут быть успешно решены.

## Список литературы

1. *Материалы Международной научно-технической конференции "50 лет модулярной арифметике"*. – МИЭТ, г. Зеленоград. Моск. обл. 23-25 ноября 2005 г.
2. *Акушский И.Я. Машинная арифметика в остаточных классах / И.Я. Акушский, Д.И. Юдицкий*. – М.: Сов. радио, 1968. – 440 с.
3. *Краснобаев В.А. Отказоустойчивые вычислительные системы на основе модулярной арифметики: концепции, методы и средства / В.А. Краснобаев, В.И. Барсов, Е.В. Яськова // Радиотехника и компьютерные системы*. – 2007. - № 8 (27). – С. 82-90.
4. *Барсов В.И., Краснобаев В.А., Сиора А.А., Авдеев И.В. Методы многоверсионной обработки информации в модулярной арифметике: Моногр. / В.И. Барсов, В.А. Краснобаев, А.А. Сиора, И.В. Авдеев*. – Х.: УИПА, 2008. – 460 с.
5. *Модели и методы повышения отказоустойчивости и производительности управляющих вычислительных комплексов специализированных систем управления реального времени на основе применения непозиционных кодовых структур модулярной арифметики. Моногр. / В.И. Барсов, Л.С. Сорока, В.А. Краснобаев, Хери Али Абдуллах*. – Х.: УИПА, 2008. – 147 с.
6. *Сиора А.А. Отказоустойчивые системы с версионно-информационной избыточностью в АСУ ТП: Монография / А.А. Сиора, В.А. Краснобаев, В.С. Харченко*. – Х.: МОН, НАУ им. Н.Е. Жуковского (ХАИ), 2009. – 320 с.
7. *Барсов В.И., Сорока Л.С., Краснобаев В.А. Методология параллельной обработки информации в модулярной системе счисления: Моногр. / В.И. Барсов, Л.С. Сорока, В.А. Краснобаев*. – Х.: МОН, УИПА, 2009. – 268 с.

Поступила в редакцию 13. 05. 2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.М. Илюшко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.

## КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ ОБРОБКИ ДАНИХ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ КОДІВ КЛАСУ ЛИШКІВ

В.А. Краснобаєв, М.О. Мавріна, С.О. Кошман, В.Н. Курчанов

*Розглянута концепція створення комп'ютерних засобів обробки даних (КСОД) на основі використання непозиційної системи числення в класі лишків. Прийняття цієї концепції дозволить створити відмовостійкі і швидкодіючі КСОД реального часу.*

**Ключові слова:** комп'ютерні засоби обробки даних, клас лишків, користувачька продуктивність, відмовостійкість, надійність.

## THE CONCEPT OF CREATING COMPUTER DATA PROCESSING MEANS THROUGH THE USE OF CODES OF RESIDUE CLASS

V.A. Krasnobayev, M.A. Mavrina, S.A. Koshman, V.N. Kurchanov

*The concept of creating computer data processing means (CDPM) based on the use of nonpositional number system in a residue class. Acceptance of this concept will allow to create a fault tolerance and high-performance CDPM of the real time.*

**Keywords:** computer data processing means, residue class, user performance, fault tolerance, reliability.