

# К СОЗДАНИЮ ВЫСОКОУРОВНЕВОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ С ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ АРХИТЕКТУРОЙ ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ И РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Ю.С. Затуливетер, Е.А. Фищенко

*ИППУ РАН, г.Москва*

## **Введение**

Развитие сетевых технологий привело к формированию глобальной компьютерной среды (ГКС), которая в своём стихийном росте стала носителем исторически беспрецедентного феномена – глобально сильно связанного информационного пространства.

В основе информационных процессов лежат три вида фундаментальных действий с информацией – хранение, передача и преобразование. К настоящему времени сетевые технологии обеспечили глобализацию действий хранения и передачи информации. В то время как универсальные методы и средства глобализации полномасштабной переработки глобально распределённой информации, циркулирующей в сетях, отсутствуют. Существующие средства сетевой обработки данных, такие как GRID и CLOUD-технологии берут лишь исчезающе малую долю в общих лавинообразно растущих потоках информации.

В основе складывавшихся веками и десятилетиями институтов власти и экономической самоорганизации оставалась *антропоцентрическая* модель, в которой монополия на переработку информации, сопровождающая функционирование и развитие социумов, отдаётся человеку и обществу. Нарастающие в ходе социального развития информационные потоки требовали обязательного обновления информационной инфраструктуры, что происходило в ходе смены государственных формаций. Реформации осуществляли реструктуризацию власти и собственности (как правило, "болезненно"), в ходе которой пропускная способность в части переработки социальными структурами увеличивалась, а обновлённые институты управления обеспечивали возможности очередного этапа социального прогресса.

Становление глобального информационного пространства, носителем которого стала компьютерная среда, привело к взрывному росту плохо организованной информации. Все большая часть слабо переработанной информации ложится непосильной ношей на социальные институты управления экономикой и социальным развитием в целом. В этих условиях мировая экономика вошла в полосу перманентных глобальных кризисов. Лидеры теряют контроль над экономическими и политическими процессами. Возрастающая амплитуда кризисов ведёт к снижению мировой стабильности и увеличивает риски силовых противостояний в борьбе за биологические, энергетические и минеральные ресурсы планеты. В стремлениях к переделу сфер влияния острая экономическая, политическая и межэтническая конкуренция уже начинает переходить в вооружённое противостояние. При нарастающей глобальной нестабильности локальные очаги бесконтрольно и непредсказуемо расширяют масштабы.

Более чем за два десятилетия развития ГКС потоки и объёмы плохо организованной и слабо перерабатываемой информации достигли критических уровней, за которыми удержание монополии антропоцентрической модели устойчивого развития становится объективно невозможным. Перманентная череда глобальных кризисов с растущей амплитудой, которые не поддаются известным политэкономическим методам купирования и регулирования, показывает, что в основе нарастающей нестабильности лежат беспрецедентные причины, которые требуют качественного обновления принципов, методов и способов управления и социальной самоорганизации.

"Слабым звеном" антропоцентрической модели развития стала ограниченная пропускная способность человека и общества в части переработки сверхбольших потоков и объёмов информации. В условиях глобализации пространства сильносвязных информаци-

онных взаимодействий исчерпавшая свой системообразующий потенциал модель уже не в состоянии поддерживать устойчивое функционирование и развития социосистемы.

Требуется более общая модель, которая откроет новые возможности развития и сохранит преемственность с предшествующей.

Информационная доминанта в характере перемен уже проявила себя настолько, что можно говорить о стихийно начавшемся переходе к новой модели развития – *инфоцентрической*. Системную опору этой модели составляет сильносвязная глобальная компьютерная среда (ГКС). Она обладает практически неограниченным потенциалом не только в наращивании объёмов памяти и пропускной способности каналов передачи данных, но и в части алгоритмической переработки глобально распределённой информации. Это то, чего недостаёт человеческой информационной среде, на которую всегда опиралась антропоцентрические модели развития.

Несбалансированная глобализация фундаментальных действий с информацией в современной компьютерной среде приводит к экспоненциальному росту интенсивности и объёмов слабо переработанной и, потому, плохо организованной информации. Чрезмерные потоки такой информации ведут к неконтролируемому росту глобального "информационного шума", что является причиной утраты управляемости социально значимыми процессами с перечисленными выше последствиями.

Ещё один фундаментальный фактор воздействия – изначально неустранимая разнородность существующих сетевых ресурсов. Системная и функциональная интеграция сетевых ресурсов и программирование распределённых вычислений с увеличением размеров сетей становятся существенно многовариантными задачами, которые, как известно, обладают комбинаторной сложностью своих решений.

Системные свойства существующих разнородных компьютерных сред и технологий их программирования не отвечают требованиям свободной масштабируемости распределённых вычислений и процессов управления, их универсальной и общедоступной (бесшовной) программируемости. Преодоление комбинаторной сложности в ходе интеграции и программирования сетевых ресурсов с увеличением размеров сетей требует неограниченного роста средств и времени.

Рост сложности ГКС приводит к практически неконтролируемому росту киберугроз. Существующие программные средства системного уровня (ОС, промежуточное ПО, все уровни сетевых протоколов) отличаются крайней разнородностью и, как следствие, обилием внутренних нестыковок, неучтённых уязвимостей. В ходе их обновления число уязвимостей только возрастает. Защита от вредоносных воздействий посредством программных решений в этих условиях становится все менее эффективной.

Прямым следствием комбинаторной сложности разнородной ГКС становится рост негативного воздействия на здоровье массовых пользователей. Растущая по мере увеличения масштабов сложность применения сетей неминуемо отражается в интерфейсах массового взаимодействия человека с машиной. Рядовые пользователи вынуждены брать на себя растущую нагрузку по переработке всё более интенсивных потоков плохо организованной информации, управлению многочисленными настройками, сервисами. Психологическая нагрузка на пользователей растёт и уже превышает природные защитные барьеры.

Источник новых вызовов – ГКС, крайне разнородная и несбалансированная. Полномасштабные ответы на них возможны только на путях совершенствования её фундаментальных системных качеств.

Для полномасштабной и своевременной переработки экспоненциально растущих потоков информации требуется формирование в совокупных ресурсах ГКС единого алгоритмического пространства распределённых и параллельных вычислений. Парадигмы параллельной и распределённой обработки данных имеют как принципиальные сходства, так и различия. До сих пор они развивались во многом изолированно друг от друга.

Поэтому проблемы формирования интегрированного пространства параллельных и распределённых вычислений в ГКС требуют особых усилий, особенно в части формирова-

ния общей – объединяющей – модели вычислений и, конечно в разработке универсальных архитектурных принципов, на основе которых станет возможным создание перспективной элементной базы для параллельных и распределённых вычислений.

### **Новые требования и подходы**

В настоящее время основу индустриальных средств функциональной интеграции сетевых ресурсов посредством систем распределённых вычислений составляют различные стандарты упоминавшихся выше Grid-систем и, в большей степени, Cloud-технологий. Следует отметить, что они нацелены на интеграцию вычислительных ресурсов в изначально разнородных вычислительных средах. Успешно решая отдельные классы задач распределённой обработки, такие системы и технологии в силу фундаментальных причин принципиально ограничены в возможностях функциональной интеграции совокупных ресурсов сколь угодно больших сетей и формирования в них единого алгоритмического пространства. В условиях сильносвязности без такого пространства невозможно вести коррелированную переработку сверхбыстро растущей глобально распределённой информации.

Глобализация парадигмы управления достигается посредством средств и методов сетецентрического управления (СЦУ), нацеленных на кардинальное повышение эффективности управления большими и сверхбольшими системам различного назначения в едином сетевом пространстве за счёт динамически формируемой общей информационной картины событий.

Системы СЦУ предполагают, что каждый объект в рамках своей "компетенции" в дополнение к автономно собираемой им информации обеспечивается необходимой для решения его задач информацией, собранной и переработанной другими объектами. На основе совокупной информации каждый из объектов в соответствии со своими "полномочиями" может автономно вырабатывать согласованные управляющие воздействия, направленные на достижение общей цели.

Системы сетецентрического управления должны функционировать в режимах реального времени и асинхронной самоорганизации, быть устойчивыми к отказам узлов сети и линий связи, обладать высоким уровнем кибербезопасности, обеспечивать введение в контуры обработки информации моделей управления с высокими уровнями интеллекта.

### **Новый подход**

Одной из стратегических целей развития ГКС является формирование в ресурсах сколь угодно больших сетей математически однородного алгоритмического пространства параллельных и распределённых вычислений [1], которое в едином формализме исчисления древовидных структур [2] сможет охватить разнородные вычислительные ресурсы ГКС. Такое пространство открывает возможности для создания в сетевых ресурсах сколь угодно больших распределённых систем переработки экспоненциально растущих потоков информации, консолидирующих совокупный вычислительный потенциал ГКС – от носимых компьютерных устройств до высокопараллельных суперкомпьютеров.

Сети общего назначения в большей своей части составлены из универсальных компьютеров с микропроцессорными архитектурами, построенными на основе модели Дж. фон Неймана. Она представляет собой классическую аксиоматику универсальных машинных вычислений, которая несёт в себе два принципиальных ограничения [2].

Во-первых, свойство универсальной программируемости реализуется только во внутренних ресурсах изолированных компьютеров, что не позволяет регулярным образом распространять свойство "бесшовной" программируемости на совокупные ресурсы компьютеров связанных сетями.

Во-вторых, отсутствует структурная регламентация способов инженерного воплощения аппаратных средств и форм представления информации в памяти, что является причиной непрерывного воспроизводства разнородности компьютерных архитектур и форм представления данных, программ, процессов и систем. Отсюда произрастают

фундаментальные причины структурной разнородности ГКС и комбинаторной сложности функциональной интеграции её ресурсов.

Модель фон Неймана де-факто стала единым логическим стандартом массового производства компьютеров и программ. Микропроцессорные архитектуры можно рассматривать как индустриальное воплощение классической модели. Микропроцессоры как элементная база (ЭБ) составляет основу всего разнообразия современных универсальных компьютерных устройств и технологий. Это означает, что все системы, построенные на основе микропроцессорной ЭБ, наследуют указанные выше ограничения, делающие невозможным полномасштабную интеграцию сетевых ресурсов.

Для полномасштабного решения задач функциональной интеграции сетевых ресурсов необходима ЭБ с новыми компьютерными и сетевыми архитектурами. Она должна обеспечить формирование в сколь угодно больших сетях единого, "бесшовно" программируемого и кибербезопасного алгоритмического пространства распределённых и параллельных вычислений [1,3]. В нём на уровне аксиоматики устраняется фактор разнородности (комбинаторной сложности функциональной интеграции). Кроме того, посредством ЭБ в виде однокристалльных компьютеров с высокоэффективной, структурно масштабируемой многопроцессорной архитектурой с массовым параллелизмом обеспечивается практически неограниченное наращивание вычислительной производительности в узлах сетей [4,5].

### **Предпосылки к созданию новой ЭБ**

Элементная база для формирования единого алгоритмического пространства параллельных и распределённых вычислений должна развиваться по двум основным направлениям.

Одно из направлений – индустриальное производство и широкое применение многопроцессорных компьютерных систем высокой и сверхвысокой производительности. Для кардинального снижения импортозависимости в производстве таких систем необходимо с опорой на производственные возможности РФ (и стран-партнёров) в приемлемые сроки разработать и на доступных СБИС-технологиях 90-45нм (и менее) освоить серийное производство высокоуровневой, масштабируемой по числу ядер (в диапазоне от сотен до тысяч), элементной базы (ЭБ). Предварительные наработки показывают, что архитектурные решения обладает достаточной конкурентоспособностью на широких классах задач с массовым параллелизмом вычислительных операций [4-6].

Другое направление – разработка опережающей ЭБ с компьютерно-сетевой архитектурой, которая предназначена для формирования в существующих сетевых ресурсах единого, свободно масштабируемого, "бесшовно" программируемого и кибербезопасного алгоритмического пространства, которое обеспечит достижение качественного превосходства в массовой организации распределённых вычислений в ГКС [1,2,3].

### **Элементная база для вычислений с массовым параллелизмом**

В настоящее время отечественные разработчики высокопроизводительных систем не имеют собственной ЭБ в виде однокристалльных компьютеров-ускорителей с существенно многоядерной архитектурой, сопоставимых с зарубежными разработками. Особые опасения вызывает зависимость российских разработчиков и производителей высокопроизводительных систем от зарубежной ЭБ.

Стратегический тренд компьютерного рынка в области высокопроизводительных вычислений представлен однокристалльными многоядерными компьютерами-ускорителями для задач с массовым параллелизмом. В условиях "теплового барьера", остановившего рост рабочих частот и производительности микропроцессоров, компьютерные архитектуры с десятками, сотнями и тысячами ядер (процессорных элементов - ПЭ) на кристалле стали главным резервом увеличения абсолютной и удельной (в расчёте на ПЭ) производительности применительно к системам всех классов – от смартфонов и встраиваемых компьютеров, до облачных дата-центров и суперкомпьютеров.

Современные многоядерные однокристалльные ускорители ведущих производителей (nVIDIA, AMD, Intel и др.) предоставляют пиковую производительность от 0.3 Тфлопс/чип (для компактных мобильных устройств) до 2-4 Тфлопс/чип и более. Они составляют основу ЭБ для высокопроизводительных систем общего и специального назначения.

В настоящее время это быстро развивающаяся, остроконкурентная рыночная площадка с многомиллиардными оборотами. Конкуренция ведётся не столько за счёт кардинального улучшения качества многоядерных архитектур, сколько посредством привычной гонки СБИС-технологий во всё более дорогостоящей борьбе за глубокие нанометры и увеличение количества транзисторов на кристалле. Новейшие ускорители, имеющие более 1000 ядер, изготавливаются по технологиям 28 и 22 нм и менее.

Важно отметить, что современные архитектуры графических многоядерных ускорителей общего назначения (GP GPU) ведущих производителей (nVIDIA, AMD), а также многоядерные решения других производителей, ещё далеки от эффективного использования всех архитектурных резервов наращивания массового параллелизма вычислений. В этой рыночной нише отсутствует явно лидирующая (с большим отрывом по качеству) архитектура (эффективная производительность на широких классах задач в расчёте на транзистор, ватт потребления и единицу стоимости). В гонке за глубокие нанометры в отсутствие высокоэффективных на широких классах задач структурно масштабируемых архитектур полезная отдача транзисторов, по мере их количественного роста на чипе, только падает.

Надо сказать, что в количественном росте транзисторов предел возможного прогресса индустриальных СБИС-технологий уже близок (~10-4нм) и будет достигнут в ближайшие 4-5 лет. В дальнейшей конкуренции решающее значение будет иметь качество многоядерных архитектур, определяемое их эффективностью на как можно более широких классах задач с массовым параллелизмом.

В целях снижения импортозависимости в сферах разработки и производства высокопроизводительных компьютеров и систем предлагается проект создания отечественной ЭБ в виде однокристалльных многоядерных компьютеров-ускорителей ПС-2000М [4-6].

Архитектура компьютеров ПС-2000М разрабатывается как развитие в ориентации на однокристалльное воплощение в глубоком нанометровом диапазоне 90-10 нм промышленно реализованной и хорошо зарекомендовавшей себя архитектуры не имевших аналогов отечественных компьютеров ПС-2000 [4]. Научные основы оригинальной многопроцессорной архитектуры с массовым параллелизмом разработаны в ИПУ РАН и успешно реализованы в выпущенном большой промышленной серией компьютере ПС-2000. Данная архитектура воплощает фундаментальные принципы отображения структур задач с массовым параллелизмом на уровне вычислительных операций на эффективную многопроцессорную структуру вычислительной среды и поэтому не привязана к особенностям быстро устаревающей компонентной и конструкторской базы.

Высокая (околопиковая) эффективность масштабируемой архитектуры и системы команд компьютера ПС-2000 на широких классах задач с массовым параллелизмом доказана более чем десятилетней практикой эксплуатации парка из сотен вычислительных комплексов в разнообразных сферах промышленной и специальной обработки данных.

Новая архитектура ПС-2000М [4-6], сочетая высокую гибкость программирования и высокую эффективность многопроцессорной реализации массовых вычислений, в полной мере наследует достоинства ПС-2000. По сравнению с зарубежными решениями в сфере однокристалльных многоядерных ускорителей с массовым параллелизмом она позволяет в более широких диапазонах возможных приложений получать в разы большую производительность в расчёте на транзистор и ватт энергопотребления. Свойство структурной масштабируемости позволяет по мере перехода к более совершенным СБИС-технологиям (90-10 нм) вместе с увеличением числа транзисторов на кристалле и, соответственно, ядер (128-16К) пропорционально наращивать вычислительную

производительность, объём и пропускную способность внутренней оперативной памяти, а также пропускную способность каналов ввода/вывода.

Относительная конкурентоспособность предлагаемой к реализации ЭБ ПС-2000М на доступных отечественных СБИС-технологиях 90-45 нм в отношении зарубежных многоядерных ускорителей ведущих производителей, реализуемых на технологиях 28-22 нм, достигается за счёт принципиальных преимуществ оригинальной многопроцессорной архитектуры. Изначально она балансируется на широких классах задач с массовым параллелизмом таким образом, что позволяет с высокой (околопиковой) эффективностью использовать главные резервы параллелизма задач, существующие на уровне неделимых вычислительных операций, которые в недостаточной степени раскрываются представленными на рынке многоядерными архитектурами. Более полное использование в архитектуре ПС-2000М массового параллелизма задач на уровне неделимых операций позволяет существенно снизить аппаратные затраты на управление и в разы поднять удельную производительность в расчёте на транзистор и ватт энергопотребления.

Конкурентоспособность в отношении представленных на мировом рынке многоядерных графических ускорителей общего назначения (nVIDIA, AMD), а также другими решениями (Intel, IBM), состоит в том, что предлагаемая архитектура изначально разрабатывается и на структурном уровне балансируется под широкие классы задач с массовым параллелизмом, раскрываемым на уровне вычислительных операций посредством большого количества ядер (сотни и тысячи). В этом её преимущества в эффективности перед однокристальными ускорителями GP GPU (nVIDIA, AMD) с таким же порядком количества ядер (сотни и тысячи). Их первоначальная структура, как известно, оптимизировались под специфические наборы алгоритмов обработки 2D/3D графики для ПК. Другие архитектуры ускорителей ориентированы на классы задач с ограниченными уровнями раскрываемого параллелизма (десятками ядер).

Прогресс полупроводниковых технологий открывает возможности полного раскрытия архитектурного потенциала структурно масштабируемой архитектуры ПС-2000М.

Элементная база в виде однокристальных компьютеров-ускорителей ПС-2000М позволит сформировать универсальную компьютерную платформу для индустриального производства высокопроизводительных и высоконадёжных вычислительных систем двойного назначения (от смартфонов и встраиваемых устройств до суперкомпьютеров), оснащённых технологиями создания совместимого программного обеспечения.

Сферы применения: сложные научные и инженерные расчёты, моделирование физических, химических, биологических и др. систем и объектов, природных и социальных явлений, высокопроизводительная обработка массивов данных и сигналов в реальном времени, построение стационарных и встраиваемых систем сетецентрического управления разнообразными объектами, базами данных, большими распределёнными системами и др.

Предлагаемое решение позволяет в определённой мере компенсировать серьёзное отставание технологий отечественного полупроводникового производства за счёт более эффективной однокристальной многопроцессорной архитектуры. Отечественные производители высокопроизводительных систем при уменьшении импортозависимости смогут на собственной ЭБ повышать конкурентоспособность стратегически важных видов продукции двойного назначения.

### **Элементная база для формирования единого алгоритмического пространства распределённых и параллельных вычислений**

Вторым компонентом новой ЭБ является универсальный сетевой компьютер в однокристальном исполнении с принципиально новой – немикропроцессорной – архитектурой [3]. Эта ЭБ предназначена для формирования "бесшовно" программируемого и кибербезопасного алгоритмического пространства распределённых вычислений и сетецентрического управления в сколь угодно больших компьютерных сетях, что предполагает производство массовыми тиражами.

Особенность и основа архитектуры однокристалльного сетевого компьютера – "умная" оперативная память большого объёма со встроенным "системным интеллектом". В отличие от традиционных микропроцессоров новая ЭБ на аппаратном уровне обеспечивает, прежде всего, эффективную реализацию универсального набора системных функций для автоматического управления внутрикомпьютерными машинными ресурсами, а также межкомпьютерными сетевыми взаимодействиями для выполнения "бесшовно" программируемых и кибербезопасных вычислений в едином алгоритмическом пространстве распределённых вычислений, охватывающем ресурсы сколь угодно больших сетей [1-3].

В настоящее время системные функции в универсальных компьютерах общего назначения реализуются по большей части программно – посредством громоздких операционных систем и многослойного сетевого программного обеспечения. Крайняя разнородность и неконтролируемая сложность программных реализаций системных функций управления ресурсами и процессами в быстро растущей гетерогенной компьютерной среде становится причиной опережающей роста сложности задач функциональной интеграции сетевых ресурсов и критического роста их уязвимости для кибератак [3].

Неприемлемое увеличение трудоёмкости, себестоимости и сроков реализации сетевых средств управления большими и сверхбольшими распределёнными системами становится практически непреодолимым препятствием на путях наращивания размеров и масштабов их применения. Примеры реализации крупномасштабных сетевых систем на основе существующих средств и технологий показывают непомерный рост себестоимости таких работ, которая уже исчисляется сотнями миллионов долларов и более. Для дальнейшего наращивания размеров и масштабов применения распределённых вычислений и сетевых систем управления на их основе, необходимо устранение причин опережающего роста системной сложности задач функциональной интеграции разнородных сетевых ресурсов [1,2].

Такое решение найдено и закладывается в архитектуру новых сетевых компьютеров. Новая ЭБ, являясь аппаратной платформой для формирования единого "бесшовно" программируемого и кибербезопасного алгоритмического пространства распределённых вычислений в сколь угодно больших сетевых средах, устранил необходимость программной реализации системных функций обеспечения распределённых вычислений, что обеспечит кардинальное (на порядки) снижение системной сложности задач функциональной интеграции сетевых ресурсов.

Для наращивания функциональных возможностей и вычислительной производительности новых сетевых компьютеров в едином алгоритмическом пространстве могут применяться разнообразные устройства, связываемые сетями. Это – интеллектуальные датчики и исполнительные устройства (мехатронные, роботизированные и 3d-аддитивные комплексы и др.), ПК, мобильные средства (встраиваемые, индивидуальные, бортовые), суперкомпьютеры, а также, в перспективе, однокристалльные компьютеры-ускорители ПС-2000М различных конфигураций и вычислительные системы на их основе.

Данная ЭБ может использоваться в составе существующих компьютерных систем и сетевого оборудования, что позволяет формировать единое алгоритмическое пространство в ресурсах ныне действующих сетей, обеспечивая тем самым возможность интеграции в это пространство необходимых систем со всем наработанным программным обеспечением.

Кибербезопасное алгоритмическое пространство, охватывающее совокупные ресурсы сетей и целевого, и общего назначения становится единой, универсально и "бесшовно" программируемой технологической средой реализации минимальными затратами средств и времени любых сильно-связных систем и технологий сетевых систем управления двойного назначения. В этом пространстве открываются возможности для кумулятивного раскрытия совокупного вычислительного потенциала ГКС, с включением высокопараллельных суперкомпьютерных систем, в целях своевременной и

полномасштабной переработки сверхбольших потоков информации, собираемых сетевыми средами.

### **Предложения по разработке отечественной высокоуровневой элементной базы и компьютерно-сетевых технологий, на основе компьютерных архитектур опережающих мировой уровень**

В части создания многопроцессорных вычислительных систем и комплексов сверхвысокой производительности предлагается разработка:

- отечественной конкурентоспособной элементной базы в виде однокристалльных многопроцессорных компьютеров со структурно масштабируемой архитектурой для задач с массовым параллелизмом производительностью 2-30 Тфлопс и более для создания мобильных и стационарных систем сверхвысокой производительности;
- с применением новой элементной базы с массовым параллелизмом высокоэффективных гибридных, свободно масштабируемых и комплексируемых архитектур и создание на их основе семейства совместимых вычислительных систем с покрытием терафлопсных и петафлопсных диапазонов производительности.

В части создания распределённых кибербезопасных информационно-управляющих систем и системы сетецентрического управления предлагается разработка:

- опережающей элементной базы с немикропроцессорной архитектурой для формирования в сколь угодно больших компьютерных сетях универсального, бесшовно программируемого алгоритмического пространства распределённых вычислений и сетецентрического управления;
- инструментария для создания и бесшовного программирования в универсальном алгоритмическом пространстве всего разнообразия сильносвязных, свободно масштабируемых и комплексируемых СЦУ с единой информационной базой текущего состояния;
- методов и моделей сетецентрического управления большими и сверхбольшими системами в сильносвязном алгоритмическом пространстве распределённых и параллельных вычислений.

Работы по проектированию новой элементной базы с изготовлением опытной партии СБИС (не менее 1000 чипов по технологиям 90, 45 (32, 22) нм могут быть выполнены в следующие сроки:

- три года - однокристалльные многопроцессорные компьютеры с массовым параллелизмом;
- пять лет - однокристалльные компьютеры с немикропроцессорной архитектурой для формирования в сетях кибербезопасного и бесшовно программируемого алгоритмического пространства.

Состав работ:

- разработка и экспериментальная апробация архитектуры, в том числе разработка макетов на ПЛИС:
  - однокристалльного многопроцессорного компьютера и его экспериментальное сравнение с наиболее продвинутыми зарубежными аналогами по сферам применения, таких как GP GPU nVIDIA,
  - немикропроцессорной архитектуры и её апробация в общедоступных и специальных компьютерных сетях;
- проектирование СБИС в технологических нормах фабрики-изготовителя, разработка базового ПО и демонстрационных задач.

### **Заключение**

Упреждающее формирование единого алгоритмического пространства параллельных и распределённых вычислений необходимо для опережающего перехода к новому технологическому укладу.

Во-первых, это кардинальное снижение системной сложности ГКС, ведущее к "обнулению" опережающего роста затрат на создание сколь угодно больших сетевых систем обработки глобально распределённой информации.

Во-вторых, как следствие, не менее значимое повышение кибербезопасности и снижение рисков их компрометации посредством кибератак, ведущих сегодня (в условиях крайней разнородности) к мгновенному обесцениванию стремительно растущих затрат на их создание.

Новая высокоуровневая ЭБ на основе опережающих компьютерных архитектур позволит исключить импортозависимость в создании наукоёмкого технологического фундамента для решения важнейших задач укрепления безопасности страны, а также сформировать отечественным разработчикам и производителям собственные позиции на мировом рынке путём экспорта конкурентоспособной высокотехнологичной продукции двойного назначения в весьма значимых направлениях развития мирового компьютеростроения.

Разнообразные средства, системы и технологии, разработанные с применением новой ЭБ, станут революционным инструментом самокупаемого и высокоприбыльного решения в едином алгоритмическом пространстве всего разнообразия сильносвязных задач по созданию перспективных и совершенствованию существующих систем двойного назначения.

## Литература

1. Ю.С. Затуливетер EхаScale: на пути к единому пространству распределённых и параллельных вычислений // Научный сервис в сети Интернет: Экзафлопное будущее: Труды Международной суперкомпьютерной конференции (20-25 сентября 2010г., г. Новороссийск). – М.: Изд-во МГУ, 2011. С.10-14. – URL: <http://agora.guru.ru/abrau2011/pdf/10.pdf>
2. Ю.С. Затуливетер Компьютерный базис сетевидного управления // Российская конференция с международным участием "Технические и программные средства в системе управления, контроля и измерения" (УКИ'10). Труды конференции. Москва, 18-20 октября 2010 г. Учреждение Российской Академии наук Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – С.17-37. URL: <http://cmm.ipu.ru/proc/Затуливетер%20Ю.С.%20.pdf>.
3. Ю.С. Затуливетер, Е.А. Фищенко Принципы формирования единого алгоритмического пространства распределённых вычислений и обеспечения его кибербезопасности // Научный сервис в сети Интернет: все грани параллелизма: Труды Международной суперкомпьютерной конференции (23-28 сентября 2013г., г.Новороссийск). -М.: Изд-во МГУ, 2013. -589с.. С.321-326. –URL: <http://agora.guru.ru/abrau2013/pdf/321.pdf>.
4. Ю.С. Затуливетер, Е.А. Фищенко Многопроцессорный компьютер ПС-2000 (Опыт создания и пути развития). М.: ИПУ РАН, 2012. – 86 с. URL: [http://www.ipu.ru/sites/default/files/publications/16551/3477-препринт%20пс-2000\\_2.pdf](http://www.ipu.ru/sites/default/files/publications/16551/3477-препринт%20пс-2000_2.pdf)
5. С.Е. Артамонов, Ю.С. Затуливетер, Е.А. Фищенко Предпосылки к созданию однокристалльного многопроцессорного компьютера ПС-2000М производительностью 1-10 Tflops // Параллельные вычислительные технологии (PaVT'2011): труды международной научной конференции (Москва, 28 марта-1 апреля 2011г.). С.402–410. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. 730с. URL: <http://omega.sp.susu.ac.ru/books/conference/PaVT2011/short/012.pdf>
6. С.Е. Артамонов, Ю.С. Затуливетер, В.А. Козлов В.А., Е.А. Фищенко Е.А. Стратегия архитектурного опережения при разработке однокристалльного многоядерного компьютера-ускорителя для задач с массовым параллелизмом // Научный сервис в сети Интернет: все грани параллелизма: Труды Международной суперкомпьютерной конференции (23-28 сентября 2013 г., г. Новороссийск). -М.: Изд-во МГУ, 2013. -589с.. С.416-431. –URL: <http://agora.guru.ru/abrau2013/pdf/416.pdf>.