

СЕТЕВЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ РОСТА РАЗМЕРОВ КРУПНОМАСШТАБНЫХ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМ И ПУТИ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Затуливетер Ю.С., Фищенко Е.А.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д.65
zvt@ipu.rssi.ru, elena.fish@mail.ru*

Аннотация: Выявляются и анализируются источники отрицательной синергии в глобальной компьютерной среде. Применение универсальной математической модели бесшовно программируемых вычислений и сетевых компьютеров с немикропроцессорной архитектурой позволяет радикально снизить стоимость создания и цифровой трансформации крупномасштабных систем и снять ограничения на их размеры.

Ключевые слова: глобальная компьютерная среда, разнородность сетевых ресурсов, положительная и отрицательная синергия, модель универсально программируемых распределённых вычислений, снижение стоимости, снятие ограничений на размеры распределённых систем.

Введение

Глобальная компьютерная среда (ГКС) стала основой увеличения размеров крупномасштабных распределённых систем: технических, экономических, организационных, социальных. Эта новая быстро растущая информационная среда обладает неограниченно наращиваемым функциональным и вычислительным потенциалом.

В настоящее время совокупные вычислительные ресурсы только ПК разных видов, входящих в ГКС в количестве более 2 млрд., представлены "суммарной" оперативной памятью свыше 1-2 Эбайт (10^{18} байт) и сотнями экзбайт долговременной памяти, их "пиковая" производительность – более 1-2 Эфлопс (10^{18} флопс). Быстро растут сети мобильной связи (более 4,5 млрд. абонентов), которые также интегрируются в ГКС, увеличивая её вычислительный потенциал и принося новые функциональные возможности, связанные с перемещениями узлов (навигация, универсальные платёжные "карты", разнообразные сенсоры, мониторинг и многое др.).

Стимулы к их росту определяет положительная синергия сетевого эффекта, верхнюю оценку которого даёт закон Меткалфа: "Полезность сетевых систем пропорциональна квадрату числа их узлов"[1].

Крупнейшие системы охватывают миллиарды пользователей, их стоимость близка к бюджетам многих стран. При этом стоимость разработки и цифровой трансформации крупномасштабных систем второго поколения, которые реализуются в ГКС на основе облачных технологий со всеми их достоинствами и недостатками [2], экспоненциально зависит от роста их размеров.

В настоящее время облачные технологии продолжают главенствовать на рынке крупномасштабных систем. Они используют цифровые платформы, которые облегчают обмен данными между взаимозависимыми группами участников бизнес-процессов и социальных коммуникаций в целом.

Примерами сформировавшихся и прогрессирующих крупномасштабных цифровых платформ являются [3]:

- поисковая система Google;
- социальные платформы: Facebook, Twitter, Instagram;
- магазины приложений: Apple/Google Play;
- рыночные интернет-площадки: Amazon, Ali-Baba;
- краудсорсинговые платформы: Uber, VlablaCar, AirBnB и другие.

Рыночная стоимость цифровой платформы с использованием облачных технологий может достигать \$4,3 трлн [3]. Она включает в себя сложный и дорогой облачный центр, сетевой трафик, которого увеличивается пропорционально количеству и активности пользователей, оплату труда нескольких миллионов сотрудников в основной компании и компаниях-партнёрах, обслуживающих и развивающих цифровую платформу.

Чрезмерная сложность центра обработки данных облачных систем и концентрация трафика с увеличением масштабов крупномасштабных систем приводит к снижению надёжности обслуживания и является растущей угрозой из-за крупных утечек информации.

В ходе своего стихийного, системно несбалансированного развития опережающий количественный рост размеров ГКС до сих пор не сопровождался качественным совершенствованием

её общесистемных принципов формирования и расширения, что становится в настоящее время причиной нарастания внутрисистемных дисбалансов развития ГКС и глобального негативного влияния на социосистемы.

Перечислим фундаментальные внутрисистемные факторы ГКС, оказывающие с ростом масштабов распределённых социотехнических систем критическое влияние на развитие мировой социосистемы, функционирующей в условиях глобальной информационной связности [4]:

- непрерывное воспроизводство разнородности одновременно на всех системных уровнях, начиная с аппаратного;
- составленная из универсальных компьютеров связанных сетями, ГКС в целом не обладает системно-целостным свойством «бесшовной» универсальной программируемости, которым обладает каждый её узел;
- неконтролируемый рост экспоненциальных потоков и объёмов слабоформализованной информации, мало пригодной для алгоритмической обработки (глобальный кризис перепроизводства информации);
- с увеличением размеров и масштабов применения ГКС в условиях крайней её разнородности проблемы обеспечения кибербезопасности становятся практически неразрешимыми.

Запредельные стоимости создания и развития облачных цифровых платформ означают, что растущие масштабы систем превысили существующие системообразующие возможности существующей ГКС. Опережающая стоимость говорит о наличии внутри ГКС источников отрицательной синергии, радикально обесценивающей эффект Меткалфа. Цель данной работы – выявление и анализ причин сетевых ограничений роста масштабов распределённых систем, обозначение путей их устранения и оценка резервов глобально-сетевой синергии увеличения полезности при дальнейшем развитии крупномасштабных систем.

1 Закон Меткалфа

С увеличением размеров глобальной компьютерной среды (ГКС) стремительно растёт её тотальное влияние на все сферы деятельности. Как известно полезность сетей в различных сферах выражается синергетическим сетевым эффектом, выраженным законом Меткалфа: [1] «Полезность сетей пропорциональна квадрату количества сетевых узлов: $V \sim N^2$ ». Значение N^2 соответствует предельно возможному количеству связей между парами узлов сетей, т.е. квадратичная синергетическая полезность сетевого эффекта определяется количеством связей в сетях.

На рис.1 представлена положительная синергия сетевого эффекта, заданная параболой полезности $V^+ \sim N^2$, которая начинает себя проявлять, когда количество узлов в сетях превышает значение «критической массы» N_k , определяющей то минимальное значение количества узлов, когда скорость линейного роста их совокупной себестоимости, уступает квадратичному росту полезности, пропорциональной количеству связей между узлами. Синергия состоит в том, что линейный рост затрат с увеличением числа узлов $N > N_k$ даёт ускоряющийся положительный эффект $V^+ \sim N^2 - N = N(N-1) \sim N^2$.

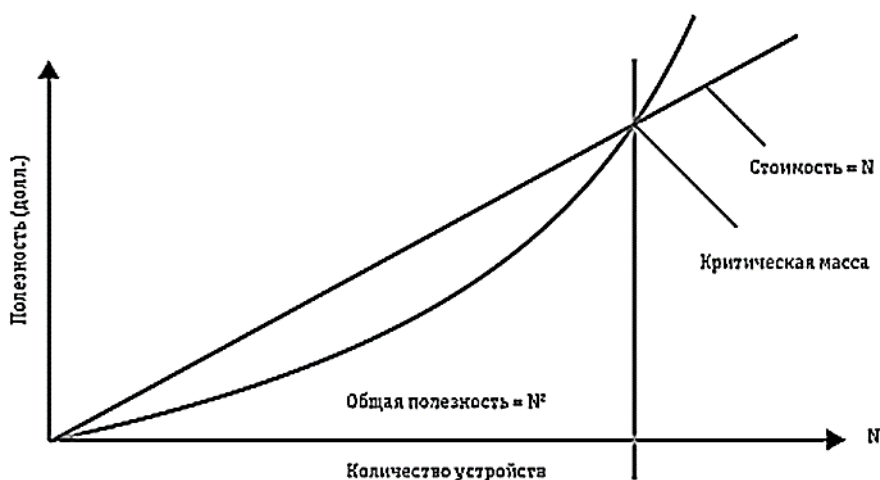


Рис.1. Положительная синергия сетевого эффекта [5]

Несмотря на то, что эффект Меткалфа первоначально был сформулирован для небольших значений $N_k \sim 30$, он продолжает проявлять себя и в ресурсах ГКС, количество компьютерных узлов в которой исчисляется миллиардами.

ГКС позволила вовлекать в сетевое пространство миллиарды пользователей. Современные облачные технологии уже обеспечили тотальное влияние больших и сверхбольших систем обработки глобально распределённой информации на мировую социосистему. Это и глобальное информационное пространство WWW, с глобальными поисковыми машинами, социальные сети, коммуникационные среды обмена мультимедиа, мировые торговые площадки, системы криптовалют и многое др.

Однако из-за крайней разнородности аппаратных, программных и информационных ресурсов ГКС в ней возникают негативные сетевые эффекты, которые не учитываются в законе Меткалфа.

Данная работа представляет результаты исследований, которые показывают наличие в ГКС не только положительной синергии эффектов Меткалфа, но и экспоненциально растущих с увеличением размеров распределённых систем отрицательных синергетических эффектов. Отрицательные синергии связаны с изначальной разнородностью ГКС. С увеличением масштабов применения ГКС разнородность приносит принципиальные ограничения на размеры больших распределённых сетевых систем массового использования. В настоящее время тенденции опережающего роста в ГКС отрицательных синергий остаются вне сфер пристального внимания.

В работе выявляются причины появления отрицательных синергий и пути их устранения на основе методов формирования в ГКС универсального алгоритмического пространства распределённых вычислений в сколь угодно больших компьютерных сетях.

2 Универсальная модель бесшовно программируемых распределённых вычислений

Отсутствие единой универсальной модели бесшовно программируемых распределённых вычислений в ГКС приводит к необходимости реализации крупномасштабных распределённых систем с использованием чрезмерно большого разнообразия облачных проблемно-ориентированных технологий системно-функциональной интеграции разнородных сетевых ресурсов.

С увеличением масштабов распределённых систем, реализуемых в ГКС, изначально разнородные сетевые ресурсы требуют решения комбинаторно сложных задач интеграции и соответствующего экспоненциального роста затрат на их практическое решение.

Весьма сложные, потому дорогостоящие, в разработке и применениях технологии интеграции разнородных сетевых ресурсов предполагают разработку множества трудно совместимых стандартов, решение сложных многовариантных технологических проблем интеграции, масштабируемости, безопасности и др.

Указанные проблемы в рамках таких технологий решаются, как правило, с преобладанием эвристических методов решения задач интеграции с трудно контролируемыми результатами на основе крайне консервативных подходов стандартизации, которые требуют длительного времени на согласование, и не только трудно совместимы, но и быстро устаревают. Они порождают всё большее количество системно не увязанных и конкурирующих между собой программно-технологических платформ интеграции сетевых ресурсов. Требуют обязательных априорных ограничений функционала систем, что ориентирует их на создание узко профилированных систем и подсистем. При этом, как правило, решают во многом схожие задачи пользователей, но по-разному – с заведомыми ограничениями на размеры систем и их функциональные возможности, связанные с трудностями преодоления комбинаторной сложности проблем интеграции.

Пределы роста крупномасштабных систем второго поколения определяются экспоненциальным ростом себестоимости систем из-за комбинаторной сложности системно-функциональной интеграции разнородных ресурсов ГКС.

Аппаратно-программная разнородность ГКС на многих системных уровнях является результатом изначального отсутствия в постулатах классической модели универсального компьютера Дж. фон Неймана математической регламентации форм представления данных и программ, а также способов осуществления универсально программируемых вычислений [4,6].

Из-за отсутствия такой регламентации в классической модели остались степени свободы, неконтролируемые постулированной логикой универсальных вычислений. Эти степени свободы остались открытыми для субъектных эвристических импровизаций инженеров и программистов, что более 70-ти лет остаётся причиной непрерывного воспроизводства разнородности форм представления данных и программ, а также аппаратных и программных платформ.

Неограниченный рост ГКС создал непреодолимые препятствия на путях дальнейшего наращивания размеров распределённых систем посредством технологий системно-функциональной интеграции разнородных сетевых ресурсов. Размеры и сферы влияния ГКС превысили критические уровни безопасного роста. На смену эвристическим основаниям ГКС, исчерпавшим свой системообразующий потенциал стихийного роста, должны прийти математические, которые устранят причины непрерывного воспроизводства разнородности и станут основой системно-сбалансированного, контролируемого и безопасного развития ГКС и социальной среды. В силу своих внутренних дисбалансов развития изначально разнородная ГКС оказывает беспрецедентно растущее дестабилизирующее влияние.

Универсальная модель бесшовно программируемых распределённых вычислений в сколь угодно больших одноранговых (P2P) компьютерных сетях построена на основе компьютерного базиса исчисления древовидных структур (ИДС) [4,6] путём «поглощающего» математического обобщения классической модели универсального компьютера Дж. фон Неймана.

Исходный постулат модели ИДС формулируется следующим образом: универсальной формой представления компьютерной информации (данных и программ) являются древовидные структуры в виде компьютерной формы представления двоичных деревьев.

Формализм ИДС представляет собой математически замкнутый компьютерный базис операций формирования и преобразования произвольных древовидных структур [6] в виде двоичных деревьев. Применительно к большим и сверхбольшим сетевым системам обработки глобально-распределённой информации компьютерный базис ИДС можно рассматривать как фундаментальный математический стандарт представления и обработки компьютерной информации.

Фундаментальность выбранной формы представления компьютерной информации (данных и программ) состоит в характеристическом свойстве минимальной структурной сложности деревьев: связность между всеми вершинами обеспечивается минимально возможным количеством дуг (количество дуг на 1 меньше количества связываемых вершин). Потеря любой из дуг нарушает целостность дерева.

Модель ИДС в результате «поглощающего» математического обобщения классической модели вводит математически замкнутую унификацию форм представления компьютерной информации и способов её обработки. При этом она наследует универсальность, простоту и высокую эффективность аппаратного воплощения правил управления универсальными вычислениями, введённых в классической модели универсальных компьютеров Дж. фон Неймана.

Такой подход не ведёт к обесцениванию колоссального запаса прежних компьютерных и программных наработок, поскольку мягкая математическая «реформация» классической модели открывает возможности осуществления эволюционного перехода от классической модели, воплощённой в массовых компьютерах с микропроцессорными архитектурами, к новой модели на основе ИДС. Это позволит в полной мере использовать отработанные за десятилетия индустриальные и рыночные методы и каналы смены поколений компьютеров и программ, но уже на основе обновлённых принципов.

3 Универсальные компьютеры с немикропроцессорной архитектурой

Предложенное обобщение классической модели открывает возможности построения нового класса универсальных сетевых компьютеров с немикропроцессорной архитектурой, которые на аппаратном уровне закрепляют возможности математически замкнутой модели ИДС по распространению свойства бесшовной программируемости и кибербезопасности на сколь угодно большие сети. Такие сетевые компьютеры обладают принципиально новым свойством компьютерной универсальности, которая бесшовно распространяется с внутрикомпьютерных ресурсов на любое множество таких компьютеров, связанных сетями.

На рис. 2 показан переход от компьютеров с микропроцессорными архитектурами к компьютерам сетевой интеграции с немикропроцессорной архитектурой, воплощающей модель вычислений на основе ИДС.

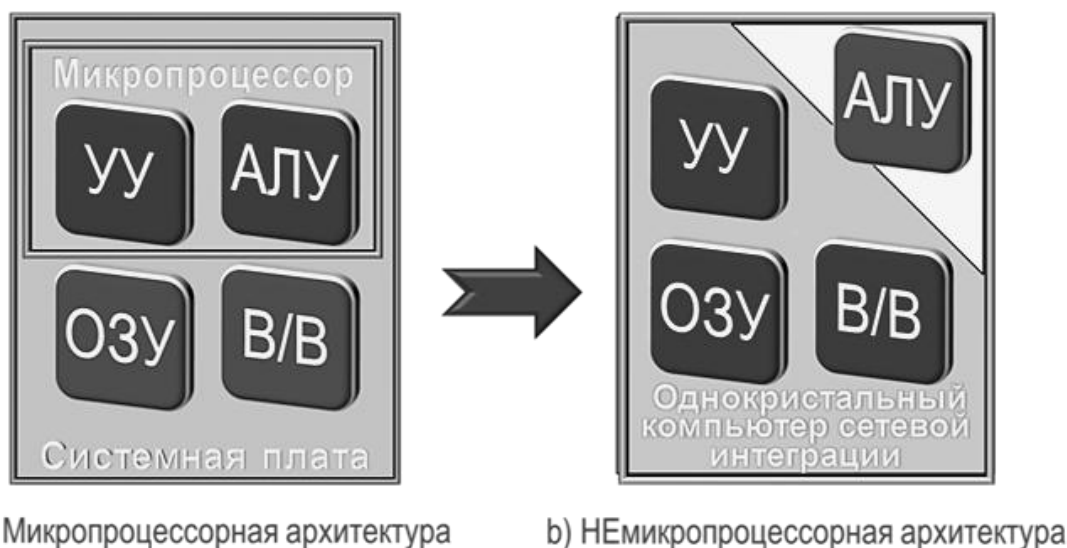


Рис. 2. Переход от микропроцессорной (а) к немикропроцессорной (б) архитектуре

Из четырёх блоков (Рис. 2а) фон-неймановских универсальных компьютеров АЛУ (арифметико-логическое устройство), ОЗУ (оперативное запоминающее устройство), УУ (устройство управления) и В/В (устройство ввода-вывода) микропроцессоры в одном кристалле СБИС реализуют только два из них – АЛУ и УУ. Память (ОЗУ) и устройства В/В вынесены из кристалла микропроцессора на системную плату как отдельные блоки, управление которыми осуществляет УУ из микропроцессора.

В классической модели ОЗУ представляет собой набор пронумерованных двоичных слов одинакового размера с линейно организованным адресным пространством (адрес взаимно-однозначно связан с номером слова). В каждый такт времени классическое ОЗУ может выполнить только логически примитивное действие либо чтения, либо записи значения слова по указанному в команде доступа к памяти адресу. Тем самым такой оперативной памяти, не обладающей собственным автономным интеллектом управления, отводится роль пассивного хранилища программ и данных. Ресурсы АЛУ и В/В, также как и ОЗУ, в данной модели не имеют самостоятельного автономного интеллекта управления.

В классической модели реализована звездообразная логическая схема централизованного управления «ведущий-ведомые». Алгоритмический интеллект управления ведущего концентрируется в УУ, остальные три вида ведомых ресурсов выполняют свои действия при получении команд из центра управления. Ведомые ресурсы могут вырабатывать коды прерывания, которые учитывает алгоритмический интеллект УУ.

Необходимо отметить, что аппаратно реализуемый алгоритмический интеллект классической модели предполагает однозадачный режим строго поочередного исполнения разных алгоритмов, в котором не возникает конкуренция многих программных процессов за совместно используемые ресурсы.

Кардинальное улучшение потребительских свойств универсальных компьютеров в их изначально однозадачной модели стало возможным благодаря программной реализации системных функций динамического управления процессами и ресурсами, включая многозадачный режим, который обеспечивал совместное выполнение процессов многих программ, размещаемых в памяти. Растущее разнообразие программ, реализующих системные функции, объединённых в большие программные комплексы, получило название операционных систем (ОС).

Однако программное воплощение системного интеллекта имеет принципиальные ограничения в своём развитии. Растущие с опережением сложность и количество системных программ в рамках ОС требуют от компьютерных архитектур догоняющего наращивания производительности и обеспечения лавинообразно растущих требований к кибербезопасности.

Доминирующие до настоящего времени микропроцессорные архитектуры в составе ГКС практически исчерпали свой системообразующий потенциал догоняющего развития в обоих указанных направлениях. Прекращение действия закона Мура [7] лишает компьютерную индустрию возможностей выжимать из микропроцессорных архитектур остатки системообразующего потенциала.

Микропроцессоры не обладают достаточным объёмом собственной системной памяти для хранения текущего состояния всех вычислительных процессов и ресурсов, поэтому для хранения системных программ и таблиц текущего состояния используется ОЗУ, расположенное вне микропроцессора. В ОЗУ системные программы ОС вступают в ресурсную и временную конкуренцию с прикладными программами, отнимая у них до половины и более времени и адресного пространства памяти, создавая при этом практически неустраняемые на программном уровне уязвимости, угрожающие кибербезопасности.

В ходе программного исполнения системных функций в микропроцессоре доступ к системным программам и данным, расположенным в ОЗУ, производится посредством интенсивного потока системных команд операционных систем, направляемых в УУ, размещённом отдельно от ОЗУ. Между ОЗУ и микропроцессором при этом происходит многошаговый обмен системной информацией, который осуществляется в режиме последовательного доступа к словам, расположенным в ОЗУ (Рис. 2а). При этом возникает непреодолимый замедляющий эффект «узкого горла» памяти.

Необходимость перемещения больших потоков системных команд и данных ОС через «узкое горло» для их исполнения вне ОЗУ становится причиной не только больших временных затрат, но и недостаточной для растущих требований к кибербезопасности защиты различных выделяемых областей памяти от несанкционированного вмешательства со стороны других программ.

В рамках немикропроцессорной архитектуры (Рис. 2б) в структуре управления меняется статус оперативной памяти с «ведомого» на «ведущего». Это достигается путём привнесения в ОЗУ аппаратных средств автономного выполнения базисного набора системных функций управления процессами и ресурсами. Такие функции требуют больших объёмов системной памяти для хранения текущего состояния процессов управления, составляющих основу системного интеллекта. Эта системная память и сами функции аппаратно реализуются в ОЗУ. Аппаратная локализация системных функций внутри ОЗУ позволяет существенно ускорить (за счёт устранения «узкого горла») и повысить защищённость их исполнения.

Проблема «узкого горла» оперативной памяти решается перемещением УУ во внутреннее пространство СБИС вместе с ОЗУ (Рис. 2б) и аппаратной реализацией системных функций УУ. Вместе с этим УУ в своём новом функционале и расположении берёт на себя функции управления интерфейсами В/В (Рис. 2б).

В новой архитектуре системные команды, запускающие аппаратное исполнение системных функций управления процессами и ресурсами, изначально инкапсулированы в алгоритмы исполнения небольшого, но универсального математически замкнутого набора операций преобразования древовидных структур нового компьютерного базиса ИДС [4, 6]. При этом вызовы системных команд локализуются в скрытых от программистов алгоритмах воплощения операций преобразования деревьев. Тем самым программисты избавляются от массовой необходимости прямого обращения к системным командам управления вычислительными процессами/ресурсами. При этом аппаратно реализуемые в УУ, размещаемого в кристалле ОЗУ, системные функции, запускаются автоматически в ходе исполнения математических операций обработки деревьев представленных в компьютерном базисе ИДС. Эти математические операции используются программистами, решающими задачи в разных предметных областях.

Обретая в новой архитектуре встроенный, аппаратно реализуемый системный интеллект и статус «ведущий», оперативная память становится «умной».

За счёт аппаратной реализации в «умной» памяти системных функций управления ресурсами/процессами обеспечивается кардинальное повышение скорости их выполнения, а также кибербезопасности (за счёт аппаратной защиты от несанкционированного воздействия программных процессов друг на друга).

В принципиально новом статусе «ведущего» центра управления «умная» память новых компьютеров обеспечит автономное исполнение программ с выполнением следующих видов системных функций управления:

- собственными ресурсами оперативной памяти (динамическое распределение, многозадачность и др.);
- процессами ввода/вывода во взаимодействиях с локальными периферийными устройствами и отдалёнными сетевыми компьютерами;
- взаимодействиями с «ведомыми» устройствами – сопроцессорными, реализующими сложные арифметико-логические операции, и/или сателлитными, осуществляющими автономное исполнение различных специализированных и программируемых вычислительных функций.

В немикропроцессорной архитектуре наиболее сложные и ресурсоёмкие функции АЛУ имеют системный статус «ведомые». Они, благодаря резидентному размещению УУ и ОЗУ в одном кристалле, «выносятся за скобки» нового центра управления и используются в качестве сопроцессорных или сателлитных вычислительных ресурсов (Рис. 2b). К таким «ведомым» ресурсам относится весь спектр существующих и перспективных вычислительных устройств – от универсальных компьютеров с микропроцессорными архитектурами и высокопараллельных ускорителей (NVIDIA, AMD и др) до специализированных вычислителей, включая криптографические процессоры, видео-ускорители, нейрокомпьютерные, а также оптические и другие вычислительные устройства.

Такая компоновка позволяет в полной мере обеспечивать преемственность с наработанным и совместимость с набираемым в ГКС вычислительным/функциональным потенциалом.

В новых компьютерах оперативная память обретает свойства абстрактной памяти хранения и преобразования двоичных деревьев. Такое абстрагирование обеспечивает математическую унификацию глобально-распределённой компьютерной информации и способов работы с ней и, как следствие, принципиальное снижение субъективных интеллектуальных затрат и времени на создание и развитие больших распределённых систем, функционирующих в ГКС.

Благодаря аппаратно-автономному осуществлению процессов выполнения системных функций в УУ, размещаемому внутри оперативной памяти, сетевые компьютеры с немикропроцессорной архитектурой, реализующие в своей системе команд компьютерный базис ИДС, открывают следующие возможности:

- аппаратно-системного закрепления в ГКС математически унифицированных форм представления данных и программ и способов работы с ними;
- кардинального повышения системного интеллекта УУ, на который возлагается выполнение ключевых и наиболее «тяжёлых» системных функций управления как локальными, так и распределёнными процессами и ресурсами;
- ускорения системных функций на порядки, по сравнению с их программной реализацией в ОС на компьютерах с микропроцессорными архитектурами;
- распространение свойства бесшовной программируемости с внутренних ресурсов компьютеров в узлах сетей на совокупные ресурсы ГКС;
- кардинальное повышение надёжности и кибербезопасности без применения дополнительных аппаратных и программных решений.

4 Новая компьютерная универсальность

Разнородность ГКС требует преодоления экспоненты комбинаторной сложности системно-функциональной интеграции. Это – главный источник отрицательной синергии и причина внутрисистемного дисбаланса развития ГКС.

Разнородность и системный дисбаланс ГКС активизируют вторичные источники отрицательной синергии:

- экспоненциальный рост слабоформализованной глобально-распределённой информации;
- невозможность обеспечения кибербезопасности при растущей разнородности ГКС.
- Устранение причин разнородности достигается за счёт:
- математического обобщения фоннеймановской модели посредством исчисления древовидных структур (ИДС);
- построения сетевых компьютеров с новой – немикропроцессорной – архитектурой, которые воплощают модель ИДС и, дополняя узлы ГКС, осуществляют бесшовно-программируемые распределённые вычисления;
- аппаратной реализации в новых компьютерах ключевых функций ОС, что открывает возможности кардинального повышения эффективности управления распределёнными системами и кибербезопасности, а также устранять отрицательную синергию разнородности системного ПО.

Новое свойство бесшовной глобально распределённой универсальности достижимо путём размещения в узлах существующей ГКС сетевых компьютеров с немикропроцессорной архитектурой. Такие узлы позволяют скрыть проявления разнородности сетевых ресурсов и тем самым устранить причины комбинаторной сложности задач их функциональной интеграции.

При создании крупномасштабных систем в обновлённой архитектуре ГКС отпадает необходимость комбинаторно сложной, потому дорогостоящей, системотехнической интеграции. При устранении отрицательной синергии разнородности остаются затраты только на создание

прикладного ПО, стоимость которого, благодаря свойству бесшовной программируемости, перестаёт зависеть от размеров крупномасштабных систем.

Новая универсальность позволяет снять верхние ограничения на размеры крупномасштабных систем и получить полезность сети пропорционально кубу узлов $V_{\text{new}} \sim N^3$. Тем самым традиционная сетевая синергия $V \sim N^2$ улучшается на степенной порядок величины.

Привнесение новой универсальности открывает принципиально новые возможности повышения синергии больших и сверхбольших сетевых систем.

Заключение

Стихийное, системно-несбалансированное расширение ГКС достигло критических уровней и становится причиной неконтролируемого роста отрицательных сетевых синергетических эффектов, которые становятся непреодолимым препятствием для проведения безопасной цифровой трансформации больших социотехнических систем, функционирующих в беспрецедентных условиях глобальной информационной связности.

В работе показаны причины возникновения в ГКС отрицательных синергий и пути к их устранению. Показано, что это требует принципиального обновления глобальных компьютерно-сетевых архитектур, направленного на устранение причин непрерывного воспроизводства разнородности ГКС с массовым воплощением и использованием принципиально новой элементной базы в виде сетевых компьютеров с немикропроцессорной архитектурой.

Литература

1. Metcalfe B.. Metcalfe's Law after 40 Years of Ethernet // Computer, vol. 46, no. 12, P. 26-31, Dec. 2013, DOI: 10.1109/MC.2013.374
2. Затуливетер Ю.С., Фищенко Е.А. Общесистемные компьютерные аспекты формирования алгоритмического пространства цифровой трансформации крупномасштабных систем / Труды 13-й Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2020, Москва), под общей редакцией С.Н.Васильева, А.Д.Цвиркуна, М.: ИПУ РАН, 2020. С. 1499-1506.
3. Everything you need to know about Digital Platforms / URL: <http://stephane-castellani.com/everything-you-need-to-know-about-digital-platforms/>
4. Затуливетер Ю.С., Фищенко Е.А. К компьютерно-сетевым архитектурам для цифровой трансформации больших систем // Программные системы: теория и приложения. 2020. т. 11, №3(46). С. 85–131. DOI: 10.25209/2079-3316-2020-11-3-85-131
5. Меткалф Б. Закон Меткалфа сорок лет спустя после рождения Ethernet // Открытые системы. СУБД. 2014. № 1.
6. Затуливетер Ю. С. Компьютерный базис сетевидного управления / Труды российской конференции с международным участием «Технические и программные средства в системе управления, контроля и измерения» (УКИ'10). 2010. Москва, 18–20 октября 2010 г. С. 17–37. URL: <https://www.ipu.ru/sites/default/files/publications/38190/20052-38190.pdf>.
7. Denning P.J., Lewis T.G. Exponential Laws of Computing Growth // Communications of the ACM, 2017, Vol. 60 No. 1, P. 54-65. DOI: [10.1145/2976758](https://doi.org/10.1145/2976758). URL: <https://www.gwern.net/docs/cs/2017-denning.pdf>.