

DOI:

ОБЩЕСИСТЕМНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ

Затуливетер Ю.С., Фищенко Е.А.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,

Россия, г. Москва ул. Профсоюзная д.65

zvt@ipu.rssi.ru , elena.fish@mail.ru

Аннотация: Рассматриваются фундаментальные аспекты проблем цифровой трансформации крупномасштабных систем в стихийно развивающейся глобальной компьютерной среде (ГКС). Излагаются базовые принципы и методы воплощения в ГКС универсального алгоритмического пространства цифровой трансформации крупномасштабных систем.

Ключевые слова: глобальная компьютерная среда, распределённые вычисления, крупномасштабные системы, цифровая трансформация, разнородность сетевых ресурсов, необработанные информационные потоки, универсальное алгоритмическое пространство.

Введение

Крупномасштабные системы, которые в ходе взаимодействия большого количества компонентов, связанных через компьютерные сети, осуществляют сбор и переработку информации в целях управления функционированием и развитием растущего разнообразия социально значимых процессов жизнеобеспечения в различных сферах (коммуникации, бизнес, производство, госуправление, финансы и экономика, медицина, образование и др.).

В настоящее время в качестве универсальной среды воплощения разнообразных крупномасштабных систем в нарастающей доле используется глобальная компьютерная среда (ГКС). Дальнейшее развитие таких систем в решающей степени зависит от доступных системообразующих возможностей ГКС в части системотехнической и экономической эффективности осуществления действий переработки глобально-распределённой информации. С увеличением размеров и масштабов влияния текущих и новых поколений крупномасштабных систем известные технологии использования принципиально ограниченных системообразующих возможностей крайне разнородной ГКС сталкиваются с непреодолимыми барьерами, что требует коррекции базовых принципов, лежащих в основе современной ГКС.

В работе представлен подход, направленный на формирование в ГКС универсального, бесшовно программируемого и кибербезопасного алгоритмического пространства цифровой трансформации. Это пространство открывает принципиально новые экономически эффективные системотехнические возможности кумулятивного использования совокупных ресурсов ГКС для создания и развития крупномасштабных систем новых поколений.

Данная работа является развитием методологии формирования в ГКС универсального алгоритмического пространства распределённых вычислений, которая предложена в нашем проекте, участвовавшем в Программе фундаментальных исследований № 13 Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления Российской академии наук «Комплексные проблемы управления».

В данной работе развивается предложенный в ходе фундаментальных исследований, проводимых в рамках указанной Программы, подход к организации глобально распределённых вычислений в ГКС [1]. Его принципиальное отличие от существующих технологий функциональной интеграции изначально разнородных сетевых ресурсов [2] состоит в устранении причин разнородности ГКС посредством универсально программируемого алгоритмического пространства распределённых вычислений [1], которое становится возможным за счёт распространения свойства универсальной программируемости, присущего отдельному компьютеру, на сколь угодно большие множества компьютеров, связанных сетями.

Ускорение и рост масштабов глобальных изменений социальных и производственных отношений требуют своевременного обновления растущего разнообразия как бизнес-моделей в разных сферах, так и государственных и международных моделей управления устойчивым развитием социально значимых процессов. Крупномасштабные системы играют ключевую системообразующую роль в обеспечении устойчивого развития социосистем. Растущие масштабы изменений требуют

непрерывного наращивания размеров и функциональных возможностей таких систем, а также устойчивого функционирования в условиях растущих угроз кибербезопасности.

Главный современный тренд развития и модернизации крупномасштабных систем состоит в их цифровой трансформации [3]. Его суть – формирование и массовое применение цифровых технологий, которые ориентируют компьютерно-сетевые платформы на полномасштабную интеграцию с бизнес-процессами и другими социально значимыми процессами. Цифровая трансформация является новым этапом интеграции компьютерно-сетевых технологий и моделей управления, направленных на расширение масштабов сквозной цифровизации в целях повышения доли компьютерного интеллекта в управляющих процессах для повышения эффективности управления и освобождения интеллекта человека от выполнения массовых рутинных функций.

Существующая ГКС в силу своей изначальной разнородности не отвечает новым требованиям своевременного и экономически оправданного наращивания размеров и расширения сфер использования крупномасштабных систем.

В ГКС воплощаются как правило централизованные крупномасштабные системы, основанные на облачных технологиях с технологическим базисом в виде цифровых платформ [4], в которых профилированные бизнес-модели воплощаются посредством различных облачных систем, реализуемых на основе различающихся и конкурирующих стандартов.

Применение облачного подхода для создания и цифровой трансформации крупномасштабных систем имеет следующие недостатки:

- сложный и дорогой серверный центр, требующий больших затрат на создание, модернизацию и обслуживание;
- необходимость наращивания пропускной способности каналов связи выхода серверов в глобальную сеть пропорционально растущему количеству и активности пользователей;
- снижение надёжности обслуживания массовых пользователей с увеличением их количества;
- отчуждение хранилищ информации и алгоритмических сервисов от личного информационного пространства массовых клиентов является растущей угрозой из-за крупных утечек информации.

Развиваемые в настоящее время иерархические пост-облачные технологии [5], включающие облачные, «туманные», «краевые» вычисления и вычисления «росы», частично преодолевают вышеперечисленные недостатки, но привносят и новые проблемы:

- разнородность оборудования;
- сложность стандартизации и переносимости ПО;
- высокая потребительская стоимость;
- растущие проблемы обеспечения масштабируемости, надёжности и кибербезопасности;
- высокие требования к производительности оборудования (маршрутизаторы для «туманных» вычислений, автономная обработка данных для вычислений «росы»).

Реализуемые в ГКС системы создаются и развиваются по штучно заказываемым проектам, трудоёмкость/стоимость создания и развития которых требует неприемлемого роста затрат, которые уже приближаются к критическим уровням. Фундаментальные причины такой сингулярности в том, что задачи интеграции ресурсов ГКС, решаемые при создании и модернизации крупномасштабных систем, в силу крайней разнородности сетевых ресурсов имеют комбинаторную сложность. Достижение требуемых уровней эффективности осуществляется перебором дорогостоящих вариантов, требуемое количество просмотров которых быстро прогрессирует с увеличением размеров.

Устранение такой сингулярности требует устранения причин непрерывного воспроизводства разнородности ресурсов ГКС. В рамках развиваемого подхода показано, что фундаментальные причины разнородности скрыты в классической модели универсального компьютера, лежащей в основе индустрии массового производства компьютерных устройств, а также показаны и предложены пути к устранению этих причин.

Цели работы:

- выявление и исследование фундаментальных аспектов проблем цифровой трансформации крупномасштабных систем с учётом основополагающих возможностей и принципиальных ограничений природных (субъектных) и искусственных (компьютерных) носителей свойства информационной универсальности;
- формирование концепции построения компьютерно-сетевых архитектур, направленных на устранение диспропорций развития ГКС, которые открывают возможности воплощения в ГКС универсального алгоритмического пространства цифровой трансформации

крупномасштабных систем, позволяющего кардинально снизить трудоёмкость создания и цифровой трансформации сколь угодно больших систем переработки глобально распределённой информации.

1 Проблемы цифровой трансформации в глобальной компьютерной среде

До появления компьютеров большие распределённые системы разнообразного назначения могли воплощать только антропоцентрические модели переработки информации, в которых в каждом звене разных уровней управления исполнение операций обработки всех информационных потоков осуществляется непосредственно человеком.

Антропоцентрические модели воплощают системообразующий потенциал *природной монополии человека* на универсальность восприятия и переработки информации (далее – *природная информационная универсальность*). Эволюция социосистем сопровождалась развитием таких моделей. И наоборот, обладая большим диапазоном структурно-информационной адаптации, эти модели, и только они, своим разнообразием обеспечивали их устойчивое развитие.

Появление массовых компьютеров, связанных глобальными сетями, кардинально меняет свойства информационной среды, в которой функционируют и должны устойчиво развиваться крупномасштабные системы и мировая социосистема в целом.

Качественно новые реалии состоят в том, что развитие техносферы, основанное на природной информационной универсальности человека и социумов, привело к появлению многих миллиардов компьютеров – искусственных носителей свойства *информационно-алгоритмической универсальности*. Их пропускная способность в части алгоритмической переработки, а также в производстве/тиражировании растущих потоков информации на многие порядки превысила биологически ограниченные возможности человека и социумов.

Свойство алгоритмической универсальности компьютеров можно рассматривать как высшее достижение эволюции техногенных систем, по аналогии с тем, что свойство информационной универсальности стало высшим достижением эволюции организмов и живых систем.

1.1 Причины и следствия перепроизводства информации

Устойчивое развитие социосистем происходит тогда, когда они обеспечивают своевременную и осмысленную переработку потоков и объёмов информации, сопровождающих их функционирование.

Стихийно сформировавшаяся ГКС в своём спонтанно-неограниченном росте информационных возможностей стала источником экспоненциального роста потоков и объёмов слабоформализованной информации, мало пригодной для глубокой алгоритмической переработки.

ГКС, являясь самой большой из искусственных систем, оказывает тотальное влияние на мировую социосистему в целом. В ней в цифровых формах концентрируется практически неограниченно растущая информационная мощь и, соответственно, системообразующий потенциал. Однако, её стихийное, потому внутрисистемно несбалансированное, расширение оборачивается неконтролируемым ростом потоков и объёмов информации. Они уже на многие порядки превосходят совокупный биологически ограниченный потенциал антропоцентрических моделей по их переработке.

Масштабы деструктивного влияния несбалансированного роста ГКС выросли настолько, что делает невозможным устойчивое развитие социосистем в рамках «однополярной» опоры на монополию антропоцентрических моделей. По масштабам алгоритмического системообразующего потенциала ГКС становится вторым – *сетевым* – полюсом глобального влияния на социумы.

Это требует перехода к новым – *биполярным* – моделям построения крупномасштабных систем, открывающих возможности системно-целостного и сбалансированного объединения антропоцентрического и сетецентрического системообразующих потенциалов. Посредством взаимодополняющего объединения достоинств природной (субъектной) и искусственной (компьютерной) универсальности посредством таких моделей открываются возможности своевременной и в достаточной степени осознанной переработки информационной экспоненты.

Главным препятствием на пути к системно-целостной глобализации биполярной архитектуры развития социосистем, являются *внутрикомпьютерные и внутрисистемные дисбалансы стихийного развития ГКС*. Совместное действие внутренних дисбалансов ГКС во внешней для неё социальной среде проявилось в виде *глобального кризиса перепроизводства информации*, который, становится причиной всё более масштабной разбалансировки мировой политэкономической системы. С начала 00-х она уже два десятилетия проявляет себя чередой новейших кризисов с нарастающей амплитудой [7, 8].

Являясь корневой системообразующей средой для воплощения всего разнообразия больших систем «прикладных» уровней, ГКС «передаёт» каждой создаваемой и функционирующей в ней распределённой системе свои глобальные внутренние дисбалансы.

Эти дисбалансы являются причиной комбинаторной сложности функциональной интеграции крайне разнородных сетевых ресурсов, неконтролируемого роста сложности проблем обеспечения кибербезопасности и многих других, до сих пор нерешённых внутрисистемных проблем ГКС.

И чем больше размеры крупномасштабных систем, тем сильнее негативные системные последствия наследуемых ими от ГКС дисбалансов. Каждая из таких систем, создаваемая как правило, по своим «индивидуальным» проектам с «одноразовым» (под проект) трудно унифицируемым подбором разнородных наборов используемых ИТ и стандартов, с увеличением размеров и масштабов применения требует экспоненциального роста затрат на преодоление последствий унаследованных дисбалансов.

Аккумуляция беспрецедентной, но всё менее контролируемой, информационной мощи в ГКС нарушила сложившиеся в условиях монополии антропоцентрических моделей балансы устойчивого развития социосистем. Наука впервые сталкивается с «рукотворным» системными вызовами тотального масштаба влияния на мировую социосистему в целом.

1.2 Информационная универсальность: от природной монополии к системно-целостной биполярности

Цифровая трансформация рассматривается в данной работе не только как долгосрочный тренд глобального отображения реальных объектов, систем и событий в цифровое пространство ГКС с целью формирования «цифрового дубликата» реального мира. Это ещё и стратегия обеспечения необходимых условий и формирования универсального инструментария управления устойчивым развитием всего разнообразия систем переработки глобально распределённой информации.

Стратегическая цель цифровой трансформации – достижение системно-целостного взаимодополняющего объединения максимальных системообразующей потенциалов природной (субъектной) и искусственной (компьютерной) информационной универсальности.

Одно из главных кибернетических качеств социумов – это их информационно-структурная самоорганизация в социосистемы, функционал которых обеспечивает многоагентный сбор информации, её передачу, накопление и переработку в целях управления устойчивым функционированием и развитием всего разнообразия социально значимых систем. В основе этого качества – *уникальная природная способность человека к информационной универсальности*, включающая способности к массовым информационным коммуникациям.

Уровень развития и масштабы социально значимых систем определяются достигнутыми возможностями способов и механизмов осуществления информационно-структурной самоорганизации. При этом особое значение имеют массовость и качество процессов накопления информации и её трансформации в социальные навыки, а также знания и техногенные процессы.

С появлением компьютеров человечество лишило себя *природной монополии* на информационную универсальность, которая до сих пор «единовластно» определяла прогресс социосистем посредством антропоцентрических моделей управления устойчивым развитием.

Пропускная способность в части передачи и преобразования информации, а также информационная ёмкость компьютеров и ГКС в целом уже на многие порядки превосходит биологически ограниченные возможности человека и социумов.

Компьютеры и ГКС, дополнив природную монополию на информационную универсальность техногенным воплощением информационно-алгоритмической универсальности, привнесли в социумы другое исторически беспрецедентное новшество. Это – новый кибернетический феномен, обозначаемый термином «*глобальной информационной связности*».

Данный феномен идентифицирован в работе [6] и привносит новое понятие, которое используется для системно анализа фундаментальные аспекты функционирования и развития ГКС. Оно обозначает характеристическое свойство глобального и сверхбыстрого взаимного информационного влияния субъектов и объектов (между собой и друг на друга), связываемых глобальными сетями. Суть феномена выражает формула: «*Всё влияет на всё и сразу*».

С увеличением количества узлов ГКС и масштабов её влияния на социосистемы и мировую социосистему в целом темпы роста потоков/объёмов информации уже на многие порядки превысили пропускную способность антропоцентрических моделей, ранее обеспечивавших управление устойчивым развитием. Объёмы производимой в ходе функционирования социосистем информации, но своевременно не перерабатываемой в целях устойчивости достигли критических уровней.

Свидетельство этому – 20-летняя череда мировых кризисов, начавшаяся с кризиса доткомов веб-технологий [7].

Фундаментальная суть проблем цифровой трансформации крупномасштабных систем, с которой приходится бороться бизнесу путём многомиллиардных вложений в цифровые платформы¹, остаётся вне фокуса пристального внимания науки состоит в необходимости *системно-сбалансированного перераспределения информационных полномочий между человеческой средой и компьютерной*. Каждая из сред состоит из «универсальных» информационных агентов, системно-сбалансированное соединение которых откроет кардинально новые возможности для решения глобально сильносвязных задач управления устойчивым развитием крупномасштабных систем.

Наука впервые сталкивается с необходимостью осуществления такой трансформации в глобальных масштабах. Латентный период «глобальной перенастройки умов» стартовал стихийно в начале 90-х с появлением ГКС и WWW. Стихийно-массовый опыт первого десятилетия рыночной и ментальной адаптации мировой социосистемы к глобальным масштабам цифровой революции завершился глобальным кризисом доткомов [7]. Это был первый отрезвляющий «сигнал» с не восполненными суммарными убытками в несколько триллионов долларов. Смысл этого сигнала спустя два десятилетия становится почти очевидным.

Однако первого кризисного предупреждения со стороны ГКС адептам абсолютного рыночного саморегулирования оказалось недостаточно. Стихийный рынок снизил уровни ажиотажных бизнес-ожиданий от доступных веб-технологий и стал постепенно восстанавливать утраченные позиции. Восстановление предкризисного значения биржевого индекса Nasdaq Composite произошло только в 2015 г. На «реабилитацию» IT-бизнесу понадобилось 15 лет [8, С. 82-84] сверхбыстрого развития компьютерной индустрии, создавшей при этом новый высокоприбыльный рынок массовых компьютерных устройств мобильной связи.

Но за этот период ГКС прямо или косвенно напомнила о себе вторым глобальным кризисом в 2007-08 г. На этот раз пострадала мировая финансово-банковская система. Активное использование компьютерно-сетевых технологий ГКС для реализации новейших финансовых алгоритмов «неожиданно» нарушило балансировку и устойчивость самой мощной финансовой системы. «Цена» второго кризиса подскочила на порядок.

Начало 2020 г. обозначило себя дуэтом из пандемии и множеством предвестий «небывалого по масштабам» общемирового кризиса. Оба «нашествия» одновременно и практически «безнаказанно» охватывают все системообразующие сферы мирового рынка.

Непрерывная череда кризисов с 2000 по 2020 г.г., вовлекая всё новые рыночные сферы, практически игнорирует все известные финансовые, экономические и политические методы их нейтрализации. Из этого напрашивается вывод, что в условиях кибернетического феномена глобальной информационной сильносвязности, привнесённого ГКС, рыночное саморегулирование уже неспособно сохранять траекторию устойчивого развития.

Обозначенная выше общесистемная проблема разделения и глобального взаимно-дополняющего совмещения достоинств сильно различающихся информационно-универсальных потенциалов человеческой и компьютерной сред своими корнями уходит в междисциплинарные компетенции и ещё не сформировавшиеся фундаментальные методологии кибернетических и компьютерных наук, поэтому не могут системно-целостным образом решиться спонтанно только в режимах рыночной конкуренции.

Анализ нарастающих новейших кризисных проявлений в период с 2000 – 2020 г.г. показывает, что опережающее развитие компьютерной индустрии сопровождается снижением устойчивости мировой экономики и социосистем в целом. Это может говорить о наличии в глубинах рыночной экономики и современной ГКС скрытых причин их несовместимости, которые препятствуют синергетическому эффекту их системно-целостного объединения. Поэтому, не смотря на смену многих поколений компьютеров, сетей и бизнес-моделей их использования, на глобальном уровне продолжается воспроизводство парадокса Роберта Солоу².

¹ Рыночная стоимость цифровой платформы с использованием облачных технологий может достигать \$4,3 трлн [4]. Она включает в себя оплату труда порядка 1,3 млн. сотрудников в основной компании и нескольких миллионов сотрудников в компаниях-партнёрах, обслуживающих и развивающих цифровую платформу.

² Robert Solow (1987): "You can see the computer age everywhere but in the productivity statistics" (<http://www.standupeconomist.com/pdf/misc/solow-computer-productivity.pdf>). Суть парадокса в том, что по рынку в целом инвестиции в компьютеризацию производств не приводят к увеличению прибыли или

Одной из главных причин растущей неустойчивости мировой социосистемы является внутрисистемная несбалансированность ГКС, которая воплощается в стихийно разрозненных методах фрагментарно осуществляемой цифровой трансформации крупномасштабных систем.

Центральная задача данной работы состоит в раскрытии причин внутренней несбалансированности ГКС и формирование принципов построения компьютерно-сетевых архитектур, обеспечивающих устранение внутрисистемных диспропорций развития ГКС. Это делает возможным научно-техническое обоснование базовых элементов стратегии реинжиниринга ГКС в системно-целостную и универсальную, бесшовно программируемую и кибербезопасную среду для построения и цифровой трансформации сколь угодно больших систем, функционирующих в условиях глобальной информационной связности.

2 Базовые принципы универсального алгоритмического пространства цифровой трансформации крупномасштабных систем

В основе формирования и применения ГКС лежат две парадигмы универсальности:

- универсальный компьютер в модели Дж. фон Неймана;
- стек сетевых протоколов TCP/IP.

В универсальных компьютерах постулируются простейшие правила автоматического исполнения программ любых алгоритмов во *внутренних* ресурсах компьютеров. При этом не регламентируются формы представления данных и программ, а также способы аппаратного воплощения правил универсальных вычислений. Отсюда возникают разнородные компьютерные и программные платформы, которые создают препятствия на пути системно-функциональной интеграции разнородных сетевых ресурсов.

Универсальные протоколы TCP/IP обеспечивают расширяемость и свободную масштабируемость компьютерных сетей, а также надёжную передачу информации между узлами, которыми являются компьютеры разных аппаратных и программных платформ, *легализуя* разнородность сетевых ресурсов.

Легализованная разнородность сетевых ресурсов является фундаментальной причиной внутрисистемных дисбалансов в развитии ГКС. Один из главных таких дисбалансов проявляется в том, что *ГКС, составленная из универсальных компьютеров, ни в целом, ни в любом своём сетевом подмножестве, изначально не обладает свойством универсальной программируемости, которым обладает каждый её узел.*

В условиях легализованной разнородности становится невозможным выполнение требования универсальной программируемости любых подмножеств ГКС, выделяемых для реализации крупномасштабных систем. Взамен этого при создании таких систем реализуются компромиссные комбинаторно сложные решения интеграции разнородных ресурсов и наборов проблемно-ориентированных функций, путём подбора средств ИТ и стандартов для формирования обособленных дорогостоящих цифровых платформ.

Для устранения причин разнородности ГКС предложен переход к новому компьютерному базису [9, 10], представляющему собой универсальный, математически замкнутый на множестве двоичных деревьев набор простейших операций формирования и преобразования двоичных деревьев. В новом базисе алгоритмы преобразования деревьев программируются посредством выделения и обхода вершин двоичных деревьев. Базисный набор функций для работы с деревьями содержит функции:

- создания/удаления вершин;
- редактирования связей между вершинами;
- перемещения указателей между соседними вершинами;
- выборки и изменения содержимого вершин;
- выполнение арифметико-логических операций над содержимым вершин.

Для обеспечения универсального программирования в ГКС осуществляется формирование сквозного адресного пространства, охватывающего оперативную память вовлекаемых в это пространство компьютеров, связанных сетями. При этом данные и программы в виде древовидных структур могут распределяться как целиком в локальной памяти компьютеров, так и с размещением своих связанных компонентов в памяти различных компьютеров.

Для обеспечения кибербезопасности производится разнесение системных и прикладных функций ПО на разные уровни за счёт реализации на аппаратном уровне ключевых функций ОС и сетевых

протоколов посредством универсальных сетевых компьютеров с новой «немикропроцессорной» архитектурой [10]. Особенность и основа архитектуры однокристалльного сетевого компьютера – «умная» оперативная память большого объёма со встроенным «системным интеллект», закрывающая несанкционированный доступ к физическому адресному пространству оперативной памяти. Этим достигается абсолютная защита от нелегального вмешательства на системные уровни со стороны прикладных программ, в которых отсутствуют каналы неконтролируемого доступа (в обход математически замкнутых операций исчисления древовидных структур) к внутренним (аппаратно реализованным) механизмам системных уровней.

Применение универсальных сетевых компьютеров с новой – «немикропроцессорной» – архитектурой позволит сформировать универсальное алгоритмическое пространство цифровой трансформации крупномасштабных систем, этапы формирования которого представлены на рис. 1.

Поэтапное формирование алгоритмического пространства в глобальной компьютерной среде

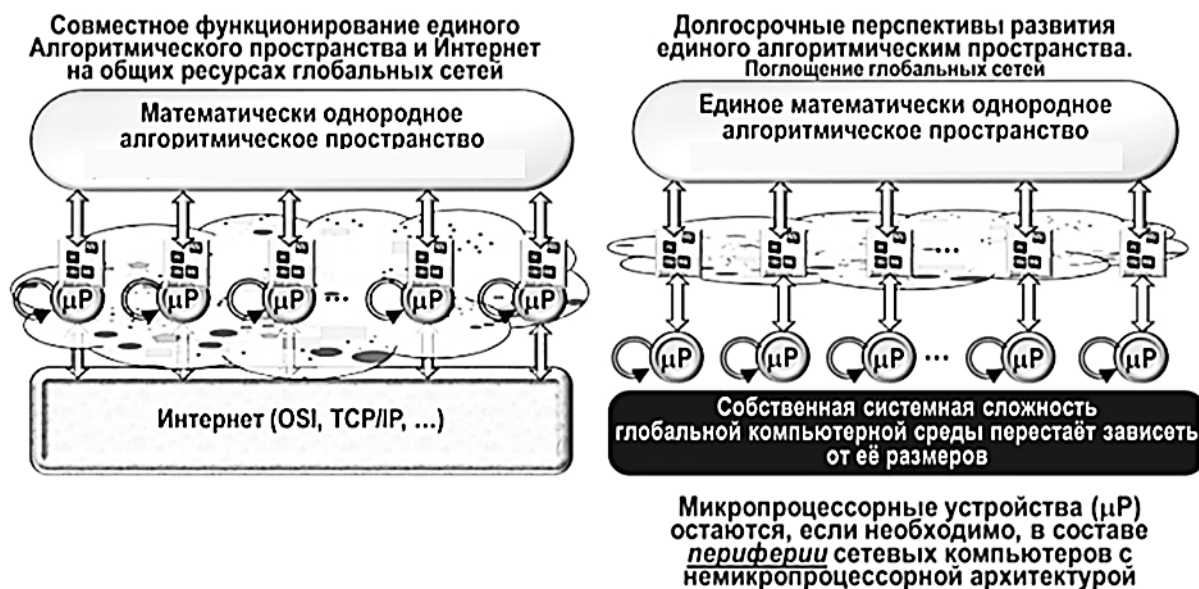


Рис. 1. Этапы эволюционного перехода к универсальному алгоритмическому пространству цифровой трансформации крупномасштабных систем

Универсальное алгоритмическое пространство цифровой трансформации крупномасштабных систем открывает возможность для прекращения роста разнородности ГКС, что в дальнейшем может обеспечить кардинальное снижение степени системной разнородности совокупных ресурсов ГКС, а значит и чрезмерной, всё хуже контролируемой системотехнической сложности ГКС, что позволит вывести её на качественно новые уровни эффективности и кибербезопасности.

Благодаря математической прозрачности, функциональной полноте и непротиворечивости нового компьютерного базиса становится достижимым полный контроль корректности аппаратной реализации алгоритмов динамического управления памятью и других алгоритмов универсального (в поле исчисления древовидных структур) ядра системных функций. На этапах проектирования обобщённого устройства управления «умной» памяти это гарантирует от противоречий и нестыковок (неустраняемых при программно-эвристической реализации системных функций в составе ОС и системного ПО поддержки сетевых протоколов) ведущих к появлению скрытых ошибок и побочных каналов нелегального воздействия на ход исполнения вычислительных процессов.

Компьютерный базис исчисления древовидных структур, реализованный в системе команд компьютеров с «немикропроцессорной» архитектурой, представляет собой универсальный базис решения прикладных задач. Воплощая математически замкнутую логику произвольных алгоритмических преобразований древовидных структур, они составляют машинезависимый

уровень программирования прикладных задач, на котором логика обработки древовидных структур инвариантна относительно размеров, структуры и конфигураций их размещения в сетевых ресурсах.

С переводом сетевых вычислений на «немикропроцессорные» архитектуры и переносом ключевых системных функций, которые сегодня реализуются в ядре ОС, на аппаратный уровень сначала в ГКС отпадёт необходимость в наращивании для распределённых вычислений непомерно раздувшегося и неконтролируемого в своей разнородности системного ПО. Это открывает возможности для прекращения дальнейшего роста разнородности аппаратных и программных платформ ГКС, что способствует кардинальному сокращению расходов средств и времени на создание и цифровую трансформацию крупномасштабных систем.

Литература

1. *Затуливетер Ю.С., Фищенко Е.А.* Принципы формирования универсального алгоритмического пространства распределенных вычислений и сетецентрического управления / Материалы 21-й Международной научной конференции «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь» (DCCN-2018, Москва). М.: РУДН. 2018. С. 170-178.
2. *Skala K., Sojat Z.* The Rainbow: Integrating Computing into the Global Ecosystem / MIPRO. 2019, P. 233-240. DOI: 10.23919/MIPRO.2019.8756947
3. *Рыжков В., Чернов Е., Нефедова О., Тарасова В.* Аналитический отчет: Цифровая трансформация в России 2018, Октябрь 2018, URL: <https://komanda-a.pro/blog/digital-transformation>
4. Everything you need to know about Digital Platforms / URL: <http://stephane-castellani.com/everything-you-need-to-know-about-digital-platforms/>.
5. *Wang Y.* Post-cloud Computing Models: from Cloud to CDEF / Proceedings The 3rd International Workshop on Dew Computing. 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.34150.47688.
6. *Затуливетер Ю. С., Фищенко Е. А.* Проблемы программируемости, безопасности и надежности распределенных вычислений и сетецентрического управления. Ч. 1. Анализ проблематики // Проблемы управления. 2016, № 3. – С. 49-57.
7. <https://www.moneycrashers.com/dot-com-bubble-burst/>.
8. *Затуливетер Ю. С., Фищенко Е. А.* Универсальное алгоритмическое пространство распределённых и параллельных вычислений // Информационные технологии и вычислительные системы. 2018. № 2. С. 78-93. DOI 10.14357/20718632180207. URL: <http://www.isa.ru/jitcs/images/documents/2018-02/78-93.pdf>
9. *Затуливетер Ю. С.* Компьютерный базис сетецентрического управления // Труды российской конференции с международным участием «Технические и программные средства в системе управления, контроля и измерения» (УКИ'10). – Москва, 18–20 октября 2010 г. – С.17–37. URL: <https://www.ipu.ru/sites/default/files/publications/38190/20052-38190.pdf>.
10. *Затуливетер Ю. С., Фищенко Е. А.* Проблемы программируемости, безопасности и надежности распределенных вычислений и сетецентрического управления Ч. 2. Подход к общему решению // Проблемы управления. 2016. № 4. С. 58-69. URL: <https://www.ipu.ru/sites/default/files/publications/38708/21053-38708.pdf>.