

Ю. С. Затуливетер, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., вед. науч. сотр., zvt@ipu.rssi.ru,
Е. А. Фищенко, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., elena.fish@mail.ru,
Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук,
Москва

Синергия цифровой универсальности глобальной компьютерной среды

В качестве объекта исследования рассмотрена глобальная компьютерная среда (ГКС) в целом. Дан анализ общесистемных аспектов осуществления посредством ГКС цифровой трансформации социотехносферы. Представлены факторы деструктивного влияния фундаментальных системотехнических закономерностей стихийного роста ГКС на функционирование и развитие социотехносферы. Особое внимание уделено изучению особенностей проявления положительного синергетического сетевого эффекта, выраженного законом Меткалфа, в условиях изначально открытой внутрисистемной разнородности сетевых ресурсов существующей ГКС. Установлено, что с увеличением размеров больших распределенных систем, реализуемых в ГКС, фактор разнородности сетевых ресурсов становится источником отрицательной (системно-деструктивной) сетевой синергии, которая обесценивает положительную синергию закона Меткалфа. На примере экосистем, реализуемых в ГКС посредством облачных систем и технологий, показано, что в условиях изначально открытой разнородности сетевых ресурсов дальнейшее наращивание размеров больших распределенных систем ведет к непреодолимому росту сложности системно-функциональной интеграции сетевых ресурсов и неконтролируемому снижению устойчивости социотехносферы. Представлены принципы концептуального реинжиниринга ГКС, направленного на устранение причин возникновения системной разнородности и бесшовное/кибербезопасное распространение алгоритмической универсальности, замкнутой во внутрикомпьютерных ресурсах, на любое сколь угодно большое подмножество компьютеров ГКС. Такой реинжиниринг позволит обеспечить нейтрализацию отрицательной синергии и максимизацию положительной синергии эффекта Меткалфа в больших распределенных системах без ограничений на их размеры.

Ключевые слова: компьютерная среда, закономерности развития, социотехносфера, цифровая трансформация, положительная сетевая синергия, закон Меткалфа, разнородность сетевых ресурсов, отрицательная синергия, облачные системы, концептуальный реинжиниринг, модель глобально универсальных распределенных вычислений, единое алгоритмическое пространство, бесшовное программирование, кибербезопасность

Введение

Глобальная компьютерная среда (ГКС) в ходе стихийно протекающей цифровой трансформации социотехносферы служит всеохватывающей универсальной основой для раскрытия системообразующего потенциала положительной сетевой синергии, выраженной законом Меткалфа: "Полезность от применения сетей пропорциональна квадрату числа сетевых узлов" [1].

В условиях изначально открытой разнородности сетевых ресурсов наращивание масштабов влияния цифровой трансформации на все разнообразие малых и больших социосистем осуществляется посредством наращивания числа и видов глобально распределенных облачных цифровых экосистем¹. К таким

экосистемам относятся коммуникационные и маркетинговые, технические, финансовые и экономические системы, системы госуправления, управления производственными и бизнес-процессами и др.

В ходе стремительного, но де-факто системно-несбалансированного, роста ГКС цифровая трансформация осуществляется с опорой на слабо формализованные и трудно контролируемые системотехнические возможности крайне разнородной² ГКС. При этом беспрецедентное по масштабам и темпам влияние такой компьютерной среды в качестве абсолютно новой — глобально сильносвязной и всеохватывающей — цифровой информационной инфраструктуры человечества кардинально и вместе с тем хаотично меняет кибернетические свойства не только раз-

¹ Этим термином обозначаются большие распределенные системы сетевой цифровизации бизнес-моделей различной направленности с облачным воплощением "центродоминирующих" сетевых архитектур "клиент-сервер".

² Разнородность сетевых ресурсов выражается растущим разнообразием трудно сопрягаемых цифровых форм представления данных и программ, аппаратных, программных и информационных платформ.

личных социосистем¹, но и мировой социосистемы в целом [2].

Во многом стихийные, стратегически не координируемые системотехнические процессы цифровой глобализации мирового информационного пространства посредством существующей ГКС (с изначально открытой разнородностью сетевых ресурсов и потому не обладающей общим системно-целостным свойством функциональной полноты [2]) вышли далеко за рамки исторического опыта и возможностей имеющегося (доцифрового) инструментария управления устойчивым развитием социосистем.

Внутренние системотехнические процессы системно несбалансированного развития ГКС де-факто стали доминирующим фактором неконтролируемого роста проявлений отрицательной сетевой синергии "побочных" сетевых эффектов и их тотального воздействия на функционирование/развитие социосистем и мировой социосистемы в целом.

Прямым следствием такого воздействия является экспоненциальный рост в ГКС потоков и объемов глобально распределенной информации [3]. Глобальные, быстро растущие потоки информации в отчетах Всемирного экономического форума (*World Economic Forum*) и Института будущего (*Institute for the Future*) безальтернативно рассматриваются только как новые возможности для развития сложившихся [3] и появления перспективных [4] массовых цифровых секторов мировой экономики.

Однако в этих и других исследованиях маркетинговой направленности не учитываются фундаментальные факторы проявления отрицательной синергии "побочных" сетевых эффектов, которые возникают вследствие глубинных внутрисистемных противоречий и системотехнических дисбалансов стихийного развития разнородной ГКС [2, 5].

Один из таких "побочных" эффектов глобально проявляется уже три десятилетия (с момента появления WWW) в виде экспоненциально растущих потоков/объемов слабо формализованной цифровой информации, которая мало пригодна для глубокой и полномасштабной алгоритмической переработки в совокупных ресурсах ГКС. Все большая часть такой информации, возникающей в ходе функционирования/развития больших и малых социосистем, остается переработанной в целях управления их устойчивым развитием. В глобально сильносвязанном информационном пространстве ГКС с новой, исторически беспрецедентной, метрикой "все влияет на все и сразу" [5] это оборачивается² прогрессирующим

снижением качества процессов управления мировой экономики [6–8].

В результате нескольких десятилетий стихийной цифровизации мировая социосистема демонстрирует неспособность согласованно и своевременно отвечать на глобальные вызовы "побочных" сетевых эффектов системно не сбалансированной компьютерной среды, а также обеспечивать общедоступную эффективность согласованного кризисного управления в условиях вирусной пандемии.

На фоне критического перепроизводства недостаточно полно перерабатываемой цифровой информации новейшие вызовы негативно воздействуют на различные социосистемы и мировую социосистему в целом [2, 5]. Такие вызовы, остающиеся без адекватных ответов, ведут к деградации принципов и оснований социального прогресса, сложившихся в доцифровые времена.

Цифровая трансформация как стратегия формирования нового устойчивого цифрового мироустройства требует принципиально новых методов и моделей, а также компьютерно-сетевых средств управления устойчивым развитием. Их реализация возможна только на основе неограниченно растущего системообразующего потенциала обновленной в своих концептуальных основах ГКС.

Стратегия концептуального реинжиниринга ГКС — это устранение фундаментальных причин непрерывного воспроизводства изначально открытой системной разнородности и полномасштабная системно-целостная интеграция глобально распределенных функциональных, вычислительных и информационных ресурсов в целях осуществления всего разнообразия процессов управления устойчивым развитием социотехносферы в условиях глобальной информационной сильносвязности.

В настоящей статье изложен концептуальный подход, направленный на системно-целостное рассмотрение фундаментальных закономерностей развития ГКС и выявление причин внутрисистемных дисбалансов в развитии ГКС. Показаны пути устранения этих причин путем реинжиниринга основополагающих принципов формирования и развития глобальных компьютерных сетей. Такие пути открываются, как показано далее, на основе математического обобщения принципов алгоритмической универсальности цифровых компьютеров, канонизированных в классической модели универсальных цифровых компьютеров Дж. фон Неймана.

1. Внутрисистемные дисбалансы развития глобальной компьютерной среды как ключевой фактор социальной дестабилизации

Цифровые экосистемы, реализуемые в разнородной ГКС, проникают практически во все сферы повседневной жизни. При этом, как отмечается в работе [9], их современное развитие в первую очередь обеспечивает опережающий рост "разрозненных данных", не являющихся "систематически организованной информацией", так как данные во многих

¹ Социосистемы — структурированные сообщества людей, объединяемые общими устремлениями/целями к совместному функционированию и развитию, а также выбором путей их воплощения. Основу социосистем составляют врожденные универсальные способности Homo Sapiens к индивидуальному и коллективному восприятию, абстрагированию и преобразованию информации, что составляет основу уникального свойства информационной универсальности человека, не имеющего природных аналогов.

² В интенсивных потоках множественных локальных событий спонтанно возникают и быстро распространяются непредсказуемые цепочки неконтролируемых причинно-следственных связей, которые все чаще вызывают лавины деструктивных процессов на глобальных уровнях [5].

случаях оторваны от контекста. Поэтому "огромное количество данных не может быть своевременно обобщено и преобразовано в полезную для общества информацию, из которой становится возможным получение систематизированных знаний". Во взаимодействии между людьми и компьютерами, а также компьютеров между собой не хватает "универсальной совместимости того, что передается, и того, что исполняется". Устранение указанных проблем критически важно для развития ГКС, которая должна наращивать "онтологически и семантически осмысленные информационные коммуникации вместо обезличенных".

Цифровая трансформация осуществляет переход к новым — более гибким и эффективным — бизнес-моделям создания, модернизации и расширения сфер влияния социальных и техногенных систем [10]. Такие модели цифровизации направлены на адаптацию больших систем к быстрым и масштабным изменениям глобального информационного контекста, в котором они функционируют и развиваются.

Продвижение цифровой трансформации в решающей степени определяется и вместе с тем ограничивается доступными системообразующими возможностями ГКС, а также ориентированными на эти возможности моделями управления устойчивым развитием сетевых распределенных систем.

В работе показано, что главным препятствием на путях развития таких систем становятся внутрикомпьютерные и внутрисистемные дисбалансы стихийного роста ГКС.

В стихийном, системно несбалансированном развитии опережающий количественный рост размеров существующей ГКС не сопровождается качественным совершенствованием ее общесистемных свойств и возможностей.

Фундаментальные внутрисистемные дисбалансы развития ГКС проявляют себя следующими факторами [2, 5, 10]:

- непрерывное воспроизводство изначально открытой разнородности на всех системных уровнях, начиная с аппаратного;

- ГКС в целом, составленная из универсальных компьютеров, связанных сетями, не обладает системно-целостным свойством функциональной полноты (бесшовной универсальной программируемости), которым обладает каждый компьютер в ее сетевых узлах;

- неконтролируемый рост экспоненциальных потоков и объемов разнородной, слабо формализованной информации, мало пригодной для алгоритмической обработки, во много раз превышает совокупные социально-субъектные и технические возможности ее переработки в целях управления устойчивым развитием социотехносферы;

- с увеличением масштабов применения ГКС проблемы дальнейшего наращивания размеров больших систем и обеспечения их кибербезопасности становятся практически неразрешимыми вследствие неприемлемого роста затрат на практическое решение комбинаторно-сложных задач системно-функциональной интеграции сетевых ресурсов с изначально открытой разнородностью.

На внешних относительно ГКС — социальных — уровнях перечисленные факторы проявления внутренних дисбалансов ГКС становятся причиной прогрессирующего снижения устойчивости социосистем и мировой экономики, которое происходит на фоне ускоряющейся экспансии крайне разнородной компьютерной среды.

Гипертекстовое информационное пространство WWW породило беспрецедентный феномен глобальной информационной связности, когда "все влияет на все и сразу" [5]. Глобальная информационная связность радикально меняет кибернетические свойства социосистем. В результате мировая социотехносфера становится все более нестабильной. В условиях глобальной информационной связности небольшие случайные причины могут вызвать глобальные неконтролируемые лавинообразные реакции деструктивного характера. Эти и другие последствия априори необъявленных "побочных" эффектов цифровой глобализации выдвигают принципиально новые требования к кибернетическим моделям и методам, а также к компьютерно-сетевым средствам управления устойчивым развитием социотехносферы [5, 6—8, 10].

Отсутствие у существующей ГКС в целом общесистемного свойства функциональной полноты (бесшовной универсальной программируемости) привело к экспоненциальному росту потоков и объемов слабо формализованной, разнородной по формам представления глобально распределенной информации. Такое развитие компьютерной среды с непредсказуемыми последствиями для мирового рынка оборачивается опережающим ростом кризиса перепроизводства слабо формализованной глобально распределенной информации. По причине малой пригодности для глубокой и полномасштабной алгоритмической переработки в ГКС в целях управления устойчивым развитием социосистем такая информация становится "непосильной ношей" для мирового сообщества.

Все это заставляет думать, что стихийное, внутрисистемно несбалансированное системотехническое развитие ГКС становится новейшим деструктивным фактором мирового влияния и одной из главных новейших причин снижения устойчивости социосистем. В результате системно несогласованных подходов к цифровой глобализации своевременно не перерабатываемая информация ведет к росту глобального "информационного шума". Такой шум неизбежно снижает качество принятия решений на всех уровнях управления процессами функционирования и развития социосистем.

Кризис перепроизводства информации становится проявлением информационного коллапса и универсально-корневой причиной нарастания финансово-экономических, геополитических, социальных и других кризисов, ведущих к снижению устойчивости социосистем и мировой социосистемы в целом [2, 5, 6—8, 10]. Факты критического снижения качества управления устойчивым развитием подтверждаются перманентной чередой новейших (с цифровым генезисом) мировых финансово-экономических кризисов [6—8]. Эта серия глобальных финансово-экономических потрясений в явочном

порядке и весьма "громко"¹ стартовала в 2000 г. с интернетовского "пузыря доткомов" [11] и уже два десятилетия продолжает неотвратимо расширять масштабы своего деструктивного влияния.

В 2010-е гг. новейшие "цифрогенные" кризисы, резистентные к известным доцифровым финансово-экономическим и политическим методам купирования, стали трансформироваться в предпосылки общесистемного кризиса современного мироустройства. Все больше переставая подчиняться известным методам регулирования, кризисные проявления сопровождаются нарастанием санкций, торговых и "гибридных" войн всех со всеми.

Результатом неконтролируемого развития процессов глобальной цифровизации является лавинообразное нарастание противоречий между традиционными (доцифровыми) и новейшими (цифровыми) методами, моделями и средствами управления функционированием/развитием социосистем. Такие противоречия проявляется в ускоряющемся росте социально-экономической нестабильности мировой социосистемы.

Деградация традиционных — доцифровых — структур и институтов управления под воздействием системно несогласованной экспансии цифровых технологий во многом происходит в силу внутрисистемных диспропорций развития ГКС [2, 5, 6—8, 10].

В своей существующей системно несбалансированной системотехнической архитектуре ГКС разрушает доцифровые — общесистемные балансы и институты управления устойчивым развитием. При этом ГКС, оставаясь крайне разнородной, не обладает функциональной полнотой и системообразующим потенциалом для создания новых, системно увязанных и сбалансированных цифровых систем и институтов своевременной и полномасштабной переработки неконтролируемых потоков/объемов информации в целях устойчивого развития.

Процессы дегградации доцифровых структур и институтов управления устойчивым развитием приближаются к точке невозврата. Сложившаяся ситуация требует принципиального, кибернетически обоснованного реинжиниринга базовых внутрисистемных принципов формирования и развития ГКС [2, 5, 10]. Такой реинжиниринг направлен прежде всего на устранение внутрисистемных диспропорций развития ГКС. Он должен обеспечить эволюционную (с сохранением накопленных достижений) трансформацию ГКС в целом в универсально программируемую и кибербезопасную цифровую среду глобально распределенного управления социально значимыми преобразованиями на основе кибернетически обоснованных моделей устойчивого и безопасного развития социотехносферы.

2. Движущие силы массовой цифровизации

Быстрый рост масштабов влияния ГКС основан на синергии мультипликативного комбинирования многих одновременно действующих типов фунда-

ментальных и других глобально/долгосрочно действующих движущих сил производства—потребления информации. Среди них выделим следующие:

- природная (доцифровая) информационная универсальность Homo Sapiens, которая выражается в способности универсально передавать и принимать, воспринимать, абстрагировать, обрабатывать, накапливать, а также классифицировать информацию в ее различных формах проявления, что обеспечивает стабильность и ускорение социального прогресса;

- искусственная (цифровая) алгоритмическая универсальность, которая в компьютерном исполнении (на основе классической модели универсального компьютера Дж. фон Неймана [12]) открыла массовые возможности автономного выполнения алгоритмов обработки цифровой информации разнобразного назначения;

- эмпирический закон Мура, который в течение пяти десятилетий (с 1970-х гг.) определял стратегическую стабильность экспоненциальных темпов прогресса полупроводниковых технологий (долгосрочная рыночная основа массового производства—потребления компьютеров с микропроцессорными архитектурами, реализующими классическую цифровую универсальность в модели фон Неймана);

- глобальная компьютерная среда, логические и технологические основы для формирования/расширения которой на протяжении длительного времени предопределяются базовым стеком (набором) сетевых протоколов TCP/IP, обеспечивающим возможность неограниченного роста размеров сетей (с изначально открытой — легализованной — разнородностью компьютерных ресурсов), к которым в качестве узловых агентов может присоединяться любое число субъектов или объектов различного назначения — от массовых компьютерных устройств, датчиков и исполнительных механизмов до серверных/облачных центров и суперкомпьютеров;

- эмпирический закон Меткалфа [1], который раскрывает квадратичный потенциал роста синергии компьютерных сетей в отношении социально значимых процессов, происходящих в ГКС, включая бизнес-процессы.

3. Закон Меткалфа

С увеличением размеров ГКС ее влияние на все сферы деятельности стремительно растет.

Польза от применения сетей в различных сферах деятельности человека выражается положительным синергетическим сетевым эффектом, выраженным эмпирическим законом Меткалфа [1]: *"Польза от применения сетей пропорциональна квадрату числа сетевых узлов: $V \sim N^2$ "*. Значение N^2 соответствует максимально возможному числу парных соединений между узлами сети. Квадратичная польза синергии сетевого эффекта быстро возрастает с увеличением числа межузловых соединений в сетях. Меткалф установил эту закономерность (рис. 1) во время

¹ Ущерб от вложений в первую волну массовых бизнес-проектов e-commerce в пространстве WWW составил около 5 трлн долл. США (<https://www.forex.blog/dot-com-bubble-puzyr-dotkomov-1995-2000/>).

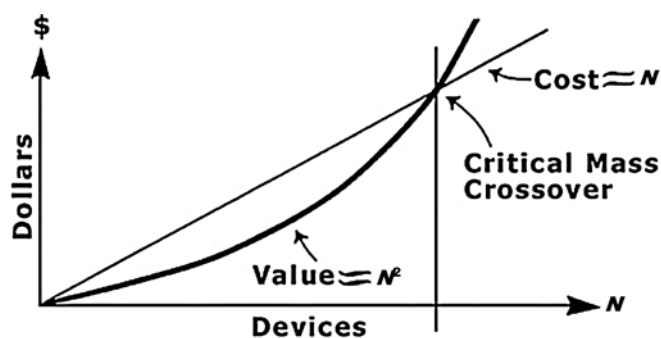


Рис. 1. Положительная синергия сетевого эффекта [1, 13]

продвижения технологии локальной сети Ethernet, разработанной под его началом [1], которая стала массовым продуктом и одним из ведущих сетевых стандартов, что в значительной мере способствовало формированию и расширению ГКС.

Линейный график изначально показывал пропорциональное увеличение стоимости покупки сетевых карт, с помощью которых компьютеры узлов подключаются к локальной сети. Как подтвердила практика, ценные качества сетевого взаимодействия между компьютерами квадратично возрастают с увеличением числа узлов, как показано на рис. 1.

Положительный эффект сетевой синергии достигается при увеличении числа сетевых узлов N , когда оно превышает значение "критической массы" N_{cm} : $N > N_{cm}$. Применительно к локальным сетям $N_{cm} \sim 30$ [1]. При этом с увеличением N положительный эффект пропорционален разнице между N^2 и затратами N : $\sim (N^2 - N)$. С развитием локальных сетей эта зависимость хорошо подтвердилась на практике [1].

В 1990-е гг. (в первое десятилетие становления и развития WWW) закон Меткалфа стал одним из основных мотиваторов глобальной цифровизации сетевого бизнеса. В этот период движущие силы массовой цифровизации проявлялись с максимальными (экспоненциально растущими) темпами закона Мура: удвоение эффективности характеристик полупроводниковых интегральных схем каждые 1,5...2 года.

Во время стремительного увеличения размеров ГКС, происходящего под давлением движущих сил массовой цифровизации, в системотехнических глубинах крайне разнородных сетевых ресурсов ГКС начали появляться и не менее стремительно нарастать силы торможения.

Одним из ведущих факторов торможения является изначально открытая (легализованная) разнородность сетевых ресурсов ГКС (аппаратных, программных, информационных). Разнородность вызывает все большее глобальное торможение всех перечисленных активных движущих сил, за исключением закона Мура. Однако этот закон уже прекращает свое действие по фундаментальным физическим причинам, поскольку с уменьшением размеров до атомарных уровней транзистор утрачивает свой функционал.

4. Силы торможения развития глобальной компьютерной среды

В ходе цифровизации бизнес-процессов и формирования крупных цифровых бизнес-экосистем на основе облачных технологий специалисты активно изучают особенности и проблемы сетевой синергии.

Публикации, посвященные изучению особенностей воплощений закона Меткалфа в ГКС и перспектив развития глобальных цифровых экосистем на основе облачных архитектур и технологий, как показывают работы [13, 14], ограничиваются рассмотрением только двух источников движущих сил массовой цифровизации, а именно, эмпирическими законами Мура и Меткалфа. Один из таких подходов представлен в работе [13]. Игнорирование других источников фундаментального влияния, перечисленных выше, сужает рамки таких рассуждений, сводя их к исследованию частных, фрагментарных проявлений. Кроме перечисленных факторов практически отсутствуют исследования фундаментальных сил торможения, противостоящих движущим силам, которые возникают по причинам глубинных внутрисистемных диспропорций развития ГКС.

Такие фрагментарные подходы не позволяют видеть всей полноты как системообразующего, так и деструктивного воздействия стихийного роста ГКС на социотехносферу.

Проанализируем методологию и результаты двух таких типовых, имеющих корпоративно-односторонний (без учета внутрисистемных закономерностей развития ГКС) характер исследований.

4.1. Анализ сетевой синергии глобальной компьютерной среды

Работа [13] по кругу поднятых вопросов является показательным примером таких "корпоративных" исследований, направленных на продвижение облачных систем. В этой работе с позиций продвижения цифровой экономики автором анализируются различные аспекты влияния движущих сил законов Мура и Меткалфа на формирование и развитие цифровой синергии компьютерных сетей в рамках облачной концепции.

В результате такого анализа автор приходит к выводу, что в современной практике массового применения ГКС по мере увеличения размеров цифровых экосистем наблюдается все большее снижение достигаемой эффективности по сравнению с той, которая предполагается этими законами. Тем самым косвенно допускается тот факт, что существуют пределы роста размеров и масштабов влияния современных крупномасштабных сетевых экосистем.

В работе [13] также полагается, что облачные технологии продолжают поддерживать положительный сетевой эффект, а существующие методы и технологии частично преодолевают разные сдерживающие силы, которые возникают с увеличением масштабов цифровых экосистем в ходе решения системотехнических проблем функциональной интеграции сетевых ресурсов. Оценка перспектив дальнейшего развития облачных цифровых экосистем в этой работе

основана на заявленной "теории оптимизации функциональной совместимости". Такой подход предполагает возможность весьма затратной и ограниченной по возможностям "шлюзовой" интеграции экосистем, если на нее "существует массовый спрос".

Эта работа следует общепринятым представлениям об отсутствии де-факто конкурентоспособной альтернативы концепции облачных систем. Апробация этой концепции как ведущего направления глобальной цифровизации и продвижения сетевых бизнес-моделей проводилась в течение предыдущих 15...20 лет [9, 15—17]. Становление облачной концепции осложнялось несостоявшимися ожиданиями сверхбыстрого роста традиционных (доцифровых) секторов экономики [6—8] вслед за беспрецедентными успехами закона Мура — главного ускорителя цифровой индустрии и компьютерного рынка.

Систематические ограничения облачных сетевых архитектур изначально были известны компьютерным специалистам. Бизнес-сообщество также не забыло компьютерный парадокс Р. Солоу [18, 19], который предупреждает о нетривиальной сложности проблем совместимости доцифровой экономики и цифровых технологий.

Нетривиальность проблем достижения такой совместимости состоит в том, что в рамках только существующих экономических воззрений/институтов развития или только стихийного развития цифровых технологий полномасштабное осуществление системно-целостной интеграции доцифровых и цифровых моделей управления устойчивым развитием невозможно. Об этом свидетельствует тридцатилетний опыт стихийного развития ГКС [6—8].

Решающим фактором формирования и доминирования глобального тренда развития облачного концепта стало то, что в условиях открытой разнородности ГКС конкурентоспособных моделей глобализации цифровой экономики, альтернативных высокозатратным облачным технологиям, не существует.

Наращивание масштабов применения облачных архитектур и технологий во многом опирается на агрессивные маркетинговые методы и кампании продвижения в сознание участников рынка синергии экспоненты закона Мура, а также параболы закона Меткалфа. Однако на современном этапе развития ГКС ситуация меняется в связи с завершением периода активного роста синергии этих законов.

Следует отметить, что "однобокие" маркетинговые способы продвижения не учитывают влияние других ключевых движущих сил массовой цифровизации, определяющих объективные закономерности развития ГКС, представленные в работах [2, 5] и других работах, на которые даны ссылки в следующих разделах. По этой причине такие подходы утрачивают действенность по мере естественного исчерпания системообразующего потенциала закона Мура и нарастания отрицательной синергии противодействия положительному сетевому эффекту Меткалфа.

Многочисленные факты функционирования цифровых облачных экосистем в 2000-е и 2010-е гг. показывают, что стремительный рост масштабов влияния

ГКС на социосистемы, основанный на доминировании облачных технологий, лежащих в основе систем обработки глобально распределенной информации, сопровождается неуклонным снижением стабильности социотехносферы в целом [6—8].

Нельзя также не отметить, что монополия облачных систем в методах и средствах осуществления цифровой трансформации социотехносферы неизбежно становится глобальным инструментом манипуляций общественным сознанием, что несет растущие риски узурпаций цифрового информационного пространства¹.

В настоящее время облачные архитектуры приближаются к исчерпанию своего системообразующего потенциала. Для формирования новых стратегий и перспективных моделей дальнейшего наращивания масштабов глобализации цифровой трансформации необходим концептуальный реинжиниринг крайне разнородной ГКС.

Далее в работе показано, что жизненный цикл рыночных успехов облачных технологий принципиально ограничен. Поэтому маловероятно, что приемлемый уровень их прибыльности сохранится для продвижения в текущем десятилетии и, тем более, в следующем.

4.2. Изменение исходных предпосылок закона Меткалфа в условиях глобальной компьютерной среды

Анализ статистических данных, представленных в работе [14], позволяет сделать определенные выводы при оценке перспектив развития облачных технологий. Эта работа направлена на проверку действия закона Меткалфа в ГКС. В ней представлены данные, сравнивающие прибыльность и стоимость цифрового бизнеса двух крупных социальных сетей Facebook и Tencent в течение 2003—2014 гг. Как отмечают авторы исследования, результаты сравнения этих различных сетей показывают успешный бизнес с достаточно высокими экономическими показателями в сопоставимых пропорциях.

Дополнительный анализ статистических данных, представленных в этой работе, показывает, что рентабельность бизнеса в сетях Facebook и Tencent за десять лет не соответствует квадратичному росту. Более того, статистика годовых отчетов показывает тенденцию к снижению положительного эффекта в диапазоне 40...20 %. Это подходящие уровни для бизнеса, но это не квадратичный рост, а устойчивое снижение. Возникает вопрос: "Как этот факт связан с квадратичной синергией Меткалфа?"

¹ Глобальное отчуждение персональной информации, которая концентрируется в облачных недрах гипертрофированных реализаций клиент-серверной сетевой архитектуры поисковиков и социальных сетей, открывает неограниченные возможности манипуляций общественным сознанием. Отсутствие должной защиты личного цифрового информационного пространства каждого человека и неконтролируемая социальными институтами концентрация персональных данных становится одной из главных угроз тотальной цифровизации, осуществляемой посредством облачных систем.

В соответствии с методологией и выводами работы [13] напрашивается ответ о влиянии многих конкретных (частного характера) факторов торможения. Эти различные факторы, будучи выявленными, могут быть устранены с помощью подходящих для каждого случая технологий "оптимальной функциональной совместимости". Однако в таком ответе не просматриваются основные причины фундаментального отклонения фактических данных [14] от квадратичного роста синергии Меткалфа.

В понимании авторов настоящей статьи, полученные расхождения с законом Меткалфа убедительно указывают на происходящее де-факто глобальное увеличение сил торможения отрицательной синергии. Причины в том, что массовый фундаментальный эффект торможения связан с легализованной априори открытой разнородностью ГКС. С увеличением размеров распределенных экосистем в ГКС возникает необходимость решения многовариантных задач системно-функциональной интеграции крайне разнородных сетевых ресурсов ГКС на аппаратном, программном и информационном уровнях. Это требует экспоненциально растущих (в общем случае) затрат на преодоление комбинаторно сложного проклятия размерности. На практике это означает появление предельных (непреодолимых) уровней интеграции разнородных сетевых ресурсов, которые ограничивают масштабы роста облачных систем и технологий, примеры анализа которых рассмотрены в работах [9, 15–17].

На рис. 2 показаны пределы роста облачных систем, реализуемых в условиях изначально открытой (легализованной) разнородности сетевых ресурсов ГКС, обеспечивающих положительный эффект сетевой синергии.

На рис. 2:

N_{exp} — начало действия отрицательной синергии (начало экспоненциального увеличения стоимости систем из-за комбинаторной сложности системно-функциональной интеграции разнородных ресурсов ГКС);

N_{max} — это верхний предел возможной прибыльности (стоимость крупнейших облачных платформ и экосистем достигает 4 трлн. долл. США и более [15], что свидетельствует о приближении к этому пределу);

$N_{\text{cm}} < N^+ < N_{\text{max}}$ — диапазон экономически эффективного увеличения размера облачных систем.



Рис. 2. Пределы роста облачных систем обработки распределенной информации в ГКС

Важно отметить, что на рис. 2 при $N \sim N_{\text{exp}}$ линейный рост затрат по закону Меткалфа прекращается. В дальнейшем, когда $N > N_{\text{exp}}$, можно наблюдать, что начинается экспоненциальный рост затрат на преодоление силы торможения отрицательной синергии, связанной с комбинаторной сложностью задач системно-функциональной интеграции многоуровневой разнородности ресурсов ГКС.

Особая значимость соотношений, представленных на рис. 2, заключается в том, что возникает четкое понимание того, что в условиях разнородности сетевых ресурсов ГКС экономически обоснованное увеличение размера N^+ облачных экосистем ограничено диапазоном $N_{\text{cm}} < N^+ < N_{\text{max}}$.

Судя по колоссальным затратам на создание, эксплуатацию и модернизацию [15], многие облачные экосистемы уже приблизились к верхним пределам. По этой причине необходимо искать новые возможности для наращивания системно сбалансированной цифровой трансформации посредством увеличения масштабов функциональной интеграции ресурсов ГКС. Такая трансформация может осуществляться за счет устранения причин непрерывного воспроизводства разнородности и последующего "обнуления" экспоненты отрицательной синергии.

5. Пути устранения системных дисбалансов в развитии глобальной компьютерной среды

Разнородность форм представления глобально распределенных данных, программ, процессов и систем в глобальных сетях, воплощаемая в различных, изначально несовместимых аппаратных, программных и информационных платформах, является одним из главных проявлений несбалансированного развития ГКС. Из трех возможных фундаментальных видов действий с информацией, а именно хранение, передача и преобразование, глобализованы только первые два. В результате универсальная программируемость, присущая каждому узлу ГКС, не распространяется на любое сколь угодно большое подмножество ГКС. Поэтому необходима системно-целостная глобализация этих действий [2, 20].

Разнородность является доминирующим источником отрицательной синергии ГКС. Чрезмерный рост стоимости экосистем связан с комбинаторной сложностью функциональной интеграции разнородных сетевых ресурсов. Разнородность и другие внутрисистемные дисбалансы ГКС активируют вторичные источники отрицательной синергии. К их числу относятся такие как кризис перепроизводства информации, невозможность обеспечения требуемых уровней кибербезопасности и др.

Дальнейшее рассмотрение обосновывает принципиальную возможность пересмотра и обновления основополагающих принципов, лежащих в основе ГКС, с изначально открытой (легализованной) разнородностью и осуществления реинжиниринга ГКС на основе такого обновления.

Стратегической целью такого реинжиниринга является выявление и устранение коренных причин разнородности ГКС, в том числе формирование

обновленной аксиоматики системно-сбалансированного развития ГКС с последующим эволюционным переходом существующей ГКС на качественно новые системообразующие уровни. При этом необходимо обеспечить регулярные системные возможности наследования аппаратных, программных и информационных наработок предшествующих поколений.

Ключевой задачей предлагаемого реинжиниринга является кумулятивно-бесшовное и кибербезопасное распространение свойства алгоритмической универсальности с внутрикомпьютерных ресурсов сетевых узлов на сколь угодно большие компьютерные сети ГКС. Свойство кумулятивной универсальности позволяет при необходимости согласованным образом задействовать совокупный вычислительный, функциональный и информационный потенциал всех узлов ГКС для решения всего разнообразия задач управления устойчивым развитием социотехносферы, функционирующей в условиях глобальной информационной связности.

5.1. О технологиях функциональной интеграции

В условиях изначально легализованной разнородности ГКС нельзя построить единую универсальную модель бесшовно программируемых глобально распределенных вычислений. Поэтому большие распределенные системы различного назначения создаются путем профилированного конфигурирования и системно-функциональной интеграции разнородных сетевых ресурсов с использованием растущего арсенала разнообразных облачных технологий.

Это дорогостоящие, трудно совместимые проблемно-ориентированные технологии, которые очень дорого разрабатывать и применять. Они требуют создания большого числа трудно сопрягаемых стандартов, решения сложных технологических проблем масштабируемости, композиции по требованию, безопасности и т. д.

Такие проблемы решаются, как правило, с использованием эвристических и согласительных подходов к стандартизации. К сожалению, они приводят к увеличению числа системно разрозненных и конкурирующих программных и технологических цифровых платформ для интеграции сетевых ресурсов, которые не отвечают растущим требованиям реентерабельности и кибербезопасности. Также они предполагают обязательные априорные системно-технические ограничения функциональности систем, что ориентирует их на создание излишне большого числа дорогостоящих и трудно развиваемых узкопрофильных распределенных систем и подсистем.

5.2. Устранение разнородности на основе новой модели распределенных вычислений

Непрерывно растущая на многих системотехнических уровнях разнородность ГКС является результатом изначального отсутствия в классической модели универсальных компьютеров Дж. фон Неймана [12] универсальных форм математически регламентированного представления данных и программ, а также способов аппаратного воплощения универсально программируемых вычислений.

В работах [2, 5, 20] авторов настоящей статьи представлено концептуальное описание универсальной модели бесшовно программируемых распределенных вычислений в сколь угодно больших одноранговых — Peer-to-Peer (P2P) — компьютерных сетях. Эта модель рассматривается в том числе и как перспективная альтернатива концепции облачных систем. Предлагаемая модель построена путем "поглощающего" математического обобщения классической модели универсального компьютера Дж. фон Неймана с использованием математически замкнутого компьютерного базиса исчисления древовидных структур (ИДС) [2, 20].

Формализм ИДС посредством деревьев с любым числом задаваемых вершин (рис. 3) позволяет осуществить математическую унификацию структурных форм представления компьютерной информации (данных и программ), а также методов бесшовного программирования/выполнения программ (в процедурном стиле фоннеймановской модели) как во внутренних ресурсах компьютеров, так и в сколь угодно больших компьютерных сетях.

На рис. 3 показан переход от математической формы представления деревьев (рис. 3, а) к бинарной форме компьютерного представления (рис. 3, б). "Многоарные" связи между вершинами (рис. 3, а) обозначены штриховыми отрезками. Переход осуществляется посредством удаления всех штриховых связей между вершинами и добавления связей, обозначенных сплошными отрезками. Это взаимно-однозначный переход.

Значениями вершин таких деревьев (на рис. 3 обозначены буквами) могут быть слова допустимых типов данных (в виде битовых строк разной длины), а также однородные массивы однотипных (равной длины) слов. Значения строк могут интерпретироваться согласно списку допустимых типов данных как символьные или числовые слова или массивы, а также как двоичные коды программ, предназначенных для запуска в различных указываемых программистом узлах ГКС и ОС. Число вершин и размеры двоичных строк и массивов не имеют принципиальных ограничений.

Исходный постулат модели ИДС формулируется следующим образом: универсальной цифровой формой представления компьютерной информации

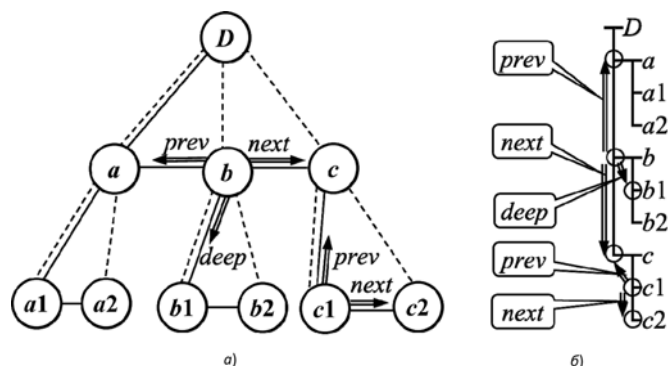


Рис. 3. Древовидная структура (а) и компьютерная форма ее представления (б) [10]

(данных и программ) являются древовидные структуры в виде компьютерной формы представления двоичных деревьев (рис. 3, б).

Формализм ИДС представляет собой математически замкнутый компьютерный базис операций формирования и преобразования произвольных древовидных структур [2, 20] в виде двоичных деревьев (рис. 3, б). По сути, 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 числом дуг (число дуг на 1 меньше числа связываемых вершин). Потеря любой из дуг нарушает целостность дерева.

Достоинства модели ИДС:

- являясь минимально достаточным (для сохранения универсальности) математическим обобщением классической модели универсального компьютера (модели Дж. фон Неймана), она в полной мере наследует процедурный стиль программирования и, соответственно, простейшую в аппаратной реализации логику управления исполнением программ;

- открывает пути к конструктивной математически замкнутой унификации (стандартизации) форм представления и способов обработки компьютерной информации, что ведет к устранению причин непрерывного воспроизводства разнородных форм представления данных и программ, а также аппаратных, программных и информационных платформ;

- открывает возможности формирования в совокупных ресурсах существующей ГКС математически однородного, бесшовно программируемого алгоритмического пространства распределенных вычислений, которое обнуляет многоуровневые комбинаторные компоненты сложности функциональной интеграции ресурсов ГКС.

Новую модель можно рассматривать как основу для системно-целостного и сбалансированного реинжиниринга [20, 21, 23] существующих логических основ разнородной ГКС. Данная модель, наследуя локальное свойство цифровой алгоритмической универсальности классической модели Дж. фон Неймана, привносит математическую регламентацию форм представления данных/программ и способов их взаимодействия. В работах [2, 5, 20, 21] показано, как в рамках новой модели свойство локальной алгоритмической универсальности компьютеров из каждого узла ГКС бесшовно и кибербезопасно распространяется на любое подмножество компьютеров сколь угодно больших сетей.

Предложенное обобщение классической модели открывает возможность построения нового класса универсальных сетевых компьютеров, характеризующихся немикропроцессорной архитектурой [20–22]. Такие компьютерные архитектуры на аппаратном уровне воплощают возможности математически замкнутой модели ИДС в части кумулятивного рас-

ширения указанных свойств программируемости и кибербезопасности на большие сети. Требуемое расширение достигается путем формирования в ГКС единого, математически однородного, бесшовно программируемого и кибербезопасного алгоритмического пространства распределенных и параллельных вычислений посредством использования в сетевых узлах новых компьютеров с немикропроцессорной архитектурой [20–23].

5.3. Глобальная компьютерная универсальность как основа новой сетевой синергии

Вместе с устранением причин разнородности форм представления и способов работы с компьютерной информацией в новой модели глобально распределенной универсальности исчезают и вторичные источники отрицательной синергии:

- экспоненциальный рост слабо формализованной глобально распределенной информации;
- неспособность обеспечить требуемые уровни реентерабельности и кибербезопасности в условиях растущей разнородности ГКС.

Формирование единого и универсального, математически однородного алгоритмического пространства распределенных и параллельных вычислений позволит кумулятивно и бесшовно — для компьютерной среды в целом — распространить свойства универсальной программируемости и кибербезопасности на сетевые ресурсы без ограничений на специфику задач и размеры систем переработки глобально распределенной информации.

Свойство бесшовной и кибербезопасной программируемости ГКС в целом можно рассматривать как новую — глобальную, компьютерную универсальность, которая расширяет локальную универсальность своих компьютерных узлов на сколь угодно большие сети. Бесшовное программирование позволяет обходиться без обременительных стандартизаций дорогостоящих технологий системно-функциональной интеграции изначально разнородных сетевых ресурсов.

Таким образом, ГКС с качественно новыми системообразующими возможностями глобально распределенной универсальности становится основой принципиально новой сетевой синергии [8], которая открывает перспективы неограниченного расширения границ достижимости потенциала положительной синергии закона Меткалфа.

На рис. 4 показан синергетический эффект глобальной компьютерной универсальности обновленной ГКС. Обновление осуществляется посредством реинжиниринга ГКС [10, 22, 23] путем включения новых сетевых компьютеров с немикропроцессорной архитектурой в состав "обычных" сетевых узлов.

Новые компьютеры с немикропроцессорной архитектурой, напрямую связанные между собой через сети, позволяют бесшовно программировать сколь угодно большие распределенные системы переработки глобально распределенной информации в целях устойчивого развития. Изначально обеспечивая бесшовное программирование и кибербезопасность на

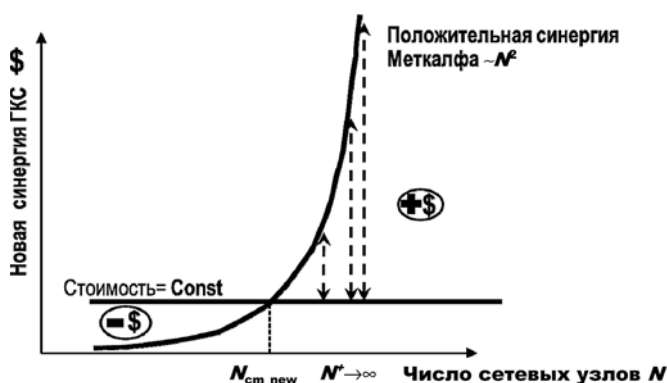


Рис. 4. Глобально распределенная компьютерная универсальность как основа новой синергии ГКС

аппаратных уровнях, такие компьютеры позволяют с минимальными усилиями (без разработки многочисленных дополнительных, громоздких и уязвимых "промежуточных" слоев системного программного обеспечения) осуществлять функциональную интеграцию сетевых ресурсов посредством развитых средств автоматизации программирования больших распределенных систем без ограничений на их размеры.

Такая интеграция сетевых ресурсов станет возможной в автоматических режимах компоновки глобально распределенных программ с привлечением соответствующих библиотек динамического конфигурирования сетевых ресурсов под решаемые задачи. При этом, главным образом, остаются затраты только на разработку моделей и алгоритмов решаемых прикладных задач, а также создание прикладного программного обеспечения. Благодаря новым системообразующим возможностям глобальной универсальности, воплощаемой в средствах автоматизации бесшовного программирования, стоимость разработок прикладных программ перестает зависеть от размера больших распределенных систем (линия Const на рис. 4).

При этом существующие и ранее наработанные вычислительные, программные и информационные ресурсы сохраняются в узлах сетей, но уже в качестве "ведомых", управление которыми делегируется новым сетевым компьютерам, имеющим в пределах своего сетевого узла системный статус "ведущий".

Сетевые компьютеры с новой, глобально распределенной, универсальностью позволяют:

- устранить экспоненциальный эффект тормозящей силы отрицательной синергии, возникающей вследствие разнородности сетевых ресурсов, и снять существующие ограничения на размер и функционал больших распределенных систем, что позволит практически неограниченно расширять сферы квадратичного действия положительной синергии Меткалфа;
- избавиться от необходимости увеличения инвестиций, пропорциональных размеру больших систем, горизонтальная линия "Стоимость = Const" (см. рис. 4) определяет фиксированный (минимально достаточный) уровень первоначальных инвестиций,

что позволяет масштабировать полученные функциональные решения на сколь угодно большие сети без заметных дополнительных затрат.

Заключение

Глобально распределенная компьютерная универсальность открывает принципиально новые системообразующие возможности для реинжиниринга ГКС и формирования в ней универсального, бесшовно программируемого и кибербезопасного алгоритмического пространства распределенных и параллельных вычислений. В этом пространстве становится возможным устранение отрицательной синергии разнородности ГКС, что является необходимым условием для системно-сбалансированной цифровой трансформации социотехносферы, направленной на безопасное и устойчивое развитие социосистем и мировой социосистемы в целом в условиях глобальной информационной связности.

Основные результаты:

- представлен оригинальный подход к изучению фундаментальных закономерностей развития компьютерной среды как глобального системно-целостного объекта;
- впервые идентифицированы и показаны способы устранения внутрисистемной отрицательной синергии ГКС, что открывает возможности для минимизации затрат на создание и модификацию сколь угодно больших систем распределенных систем, которые составят альтернативу облачным системам и технологиям и откроют перспективы для массовой реализации системно-сбалансированных моделей цифровой трансформации.

Список литературы

1. Metcalfe B. Metcalfe's law after 40 years of Ethernet// Computer. 2013. Vol. 46, No. 12. P. 26–31. DOI: 10.1109/MC.2013.374.
2. Затуливетер Ю. С. Проблемы глобализации управления в математически однородном поле компьютерной информации // Проблемы управления. 2005. № 1. Ч. I. Кибернетизация социосистемы. С. 1–12. URL: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=pu&paperid=402&option_lang=rus. Ч. II. К единому функциональному пространству. № 2. С. 13–23. URL: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=pu&paperid=418&option_lang=rus.
3. The Global Technology Report 2012. Living in a Hyperconnected World. Geneva. 2012. URL: https://www3.weforum.org/docs/Global_IT_Report_2012.pdf
4. Institute for the future. The hyperconnected world of 2030–2040. URL: https://www.iftf.org/fileadmin/user_upload/downloads/ourwork/IFTF_Hyperconnected_World_2020.pdf#:~:text=The%20hyperconnected%20world%20is%20a%20future%20in%20which,more%20devices%2C%20and%20more%20interactions%20between%20the%20two
5. Затуливетер Ю. С., Фищенко Е. А. Проблемы программируемости, безопасности и надежности распределенных вычислений и сетцентрического управления. Ч. 1. Анализ проблематики // Проблемы управления. 2016. № 3. С. 49–57. URL: <https://www.ipu.ru/sites/default/files/publications/38154/19991-38154.pdf>
6. Затуливетер Ю. С. Ноосферные проблемы цифровой трансформации // Материалы 6-го Международного научного конгресса "Глобалистика-2020: Глобальные проблемы и будущее человечества" (Москва, МГУ). М.: МООСИПНН Н. Д. Кондратьева. 2020. С. 38–49. DOI: 10.46865/978-5-901640-33-3-2020-38-49. URL: <https://www.ipu.ru/sites/default/files/publications/60013/49159-60013.pdf>

7. **Затуливетер Ю. С.** Кибернетический анализ закономерностей теории длинных волн Кондратьева в контексте глобальной информационной связности // Научное наследие Н. Д. Кондратьева и современность: Сб. науч. тр. участников X Международной Кондратьевской конференции, посвященной 125-летию со дня рождения Н. Д. Кондратьева, Москва, 25–30 сентября 2017 г. С. 158–169. URL: <https://www.ipu.ru/sites/default/files/publications/44065/27730-44065.pdf>

8. **Затуливетер Ю. С.** Новая синергия длинных волн Н. Д. Кондратьева // Труды 11-й Международной Кондратьевской конференции "Возможные сценарии будущего России и мира: междисциплинарный дискурс" (Москва, 2020). М.: МООСИПНН Н. Д. Кондратьева, 2020. С. 169–183. DOI: 10.46865/978-5-901640-34-0-2020-169-183. URL: <https://www.ipu.ru/sites/default/files/publications/60020/49168-60020.pdf>

9. **Skala K., Sojat Z.** The Rainbow: integrating computing into the global ecosystem // MIPRO 2019 (20–24 May 2019. Opatija, Croatia). P. 233–240. DOI: 10.23919/MIPRO.2019.8756947.

10. **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.

11. **Кризис** доткомов 2000-х — пузырь, который лопнул. Причины и последствия // URL: <https://internetboss.ru/krisis-dotkomov/>

12. **Беркс А., Голдстейн Г., Нейман Дж.** Предварительное рассмотрение логической конструкции электронного вычислительного устройства // Кибернетический сборник. М.: Мир. 1964. Вып. 9. С. 7–67.

13. **Yoo C. S.** Moore's law, Metcalfe's law, and the theory of optimal interoperability. 2016. URL: <https://ctlj.colorado.edu/wp-content/uploads/2015/12/v2.Final-Yoo-11.25.15-JRD.pdf>

14. **Zhang X. Z., Liu J. J., Xu Z. W.** Tencent and Facebook data validate Metcalfe's law // Journal of computer science and

technology. 2015. Vol. 30, Is. 2. P. 246–251. DOI: 10.1007/s11390-015-1518-1.

15. **Everything** you need to know about Digital Platforms. 2016. URL: <http://stephane-castellani.com/everything-you-need-to-know-about-digital-platforms/>

16. **Srikanth.** Top 10 Cloud Computing Challenges in 2020. 30.09.2019. URL: <https://www.techexpert.com/top-10-cloud-computing-challenges-in-2020/>

17. **Ray P. P.** An introduction to dew computing: Definition, concept and implications // IEEE Access. 2017. Vol. 6. P. 723–737. URL: DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2775042.

18. **Solow R.** We'd Better Watch Out. New York Review of Books. July 12, 1987. URL: <http://digamo.free.fr/solow87.pdf>

19. **Парадокс** производительности. URL: https://ru.abcdcf.wiki/wiki/Productivity_paradox

20. **Затуливетер Ю. С.** Компьютерный базис сетевых управления // Труды 2-й Всероссийской конференции с международным участием "Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения" (УКИ-2010, Москва). М.: ИПУ РАН, 2010. С. 17–37. URL: <https://www.ipu.ru/sites/default/files/publications/38190/20052-38190.pdf>

21. **Затуливетер Ю. С., Фищенко Е. А.** Проблемы программируемости, безопасности и надежности распределенных вычислений и сетевых систем управления Ч. 2. Подход к общему решению // Проблемы управления. 2016. № 4. С. 58–69. URL: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&irnid=pu&paperid=983&option_lang=rus

22. **Затуливетер Ю. С., Фищенко Е. А.** Универсальное алгоритмическое пространство распределенных и параллельных вычислений // Информационные технологии и вычислительные системы. 2018. № 2. С. 78–93. DOI: 10.14357/20718632180207.

23. **Zatuliveter Yu. S., Fishchenko E. A.** Towards Strategic Reengineering the Global Computer Environment for Control of Sustainable Development of Social Systems // IFAC-PapersOnLine. 2021. Vol. 54, No. 13. P. 129–133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.432>

Synergy of Digital Universality of the Global Computer Environment

Yu. S. Zatuliveter, zvt@ipu.rssi.ru, **E. A. Fishchenko**, elena.fish@mail.ru, V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, 117997, Russian Federation

Corresponding author:

Zatuliveter Yuriy S., Ph.D. of Engineering Sciences, Leading Researcher, Senior Research Officer, V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, 117997, Russian Federation
E-mail: zvt@ipu.rssi.ru

Received on December 14, 2021

Accepted on January, 28, 2022

The global computer environment (GCE) as a whole is considered an object of research. The system-wide aspects of implementing the digital transformation of the sociotechnosphere through the GCE are analyzed. Factors of the destructive influence of the fundamental system-technical laws of the spontaneous growth of the GCE on the functioning/development of the sociotechnosphere are presented. Special attention is paid to the study of the features of the appearance of a positive synergetic network effect, expressed by Metcalf's law, in the conditions of the initially open intra-system heterogeneity of the network resources of the existing GCE. It is established that with the increase in the size of large distributed systems implemented in the GCE, the factor of heterogeneity of network resources becomes a source of negative (system-destructive) network synergy, which devalues the positive synergy of Metcalf's law. Examples of ecosystems implemented in the GCE through cloud technologies are considered. It is shown that in the conditions of initially open heterogeneity of network resources, the further increase in the size of large distributed systems leads to an insurmountable increase in the complexity of the system-functional integration of network resources and an uncontrolled decrease in the stability of the sociotechnosphere. The principles of conceptual reengineering the GCE are presented to eliminate the causes of systemic heterogeneity and seamless/cybersecurity distribution of algorithmic universality, closed in intracomputer resources, to any arbitrarily large sub-

set of GCE computers. Such reengineering will allow neutralizing the negative synergy and maximizing the positive synergy of the Metcalf effect in large distributed systems without restrictions on their size.

Keywords: computer environment, development trends, sociotechnosphere, digital transformation, positive network synergy, Metcalf's law, heterogeneity of network resources, negative synergy, cloud systems, conceptual reengineering, model of globally universal distributed computing, unified algorithmic space, seamless programming, cybersecurity

For citation:

Zatuliveter Yu. S., Fishchenko E. A. Synergy of Digital Universality of the Global Computer Environment, *Programnaya Ingeneria*, 2022, vol. 13, no. 3, pp. 107–118.

DOI: 10.17587/prin.13.107-118

References

1. **Metcalf B.** Metcalf's Law after 40 Years of Ethernet, *Computer*, 2013, vol. 46, no. 12, pp. 26–31, DOI: 10.1109/MC.2013.374.
2. **Zatuliveter Yu. S.** The problems of control paradigm globalization in the mathematically uniform field of computer information, *Problemy upravleniya (Control Sciences)*, 2005, no. 1. Part I. Cybernation of sociosystem, pp. 1–12. Part II. To the common function space, no. 2, pp. 13–23 (in Russian).
3. **The Global Technology Report 2012.** Living in a Hyperconnected World, Geneva. 2012, available at: https://www3.weforum.org/docs/Global_IT_Report_2012.pdf
4. **Institute for the Future.** The Hyperconnected World of 2030–2040, available at: https://www.iftf.org/fileadmin/user_upload/downloads/ourwork/IFTF_Hyperconnected_World_2020.pdf#:~:text=The%20hyperconnected%20world%20is%20a%20future%20in%20which,more%20devices%2C%20and%20more%20interactions%20between%20the%20two
5. **Zatuliveter Yu. S., Fishchenko E. A.** Problems of Programability, Security and Reliability of Distributed Computing and Network-centric Control. Part 1: Problem Analysis, *Problemy upravleniya*, 2016, no. 3, pp. 49–57 (in Russian).
6. **Zatuliveter Yu. S.** Noospheric Problems of Digital Transformation, *Materialy 6-go Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa "Globalistika-2020: Global'nye problemy i budushchee chelovechestva"*, Moscow, MOOSIPNN N. D. Kondrat'eva, 2020, pp. 38–49, DOI: 10.46865/978-5-901640-33-3-2020-38-49. (in Russian).
7. **Zatuliveter Yu. S.** Cybernetic analysis of the law-regularities of Kondratiev's theory of long waves in the context of global information strongly connectedness, *Nauchnoe nasledie N. D. Kondrat'eva i sovremennost': Sbornik nauchnykh trudov uchastnikov X Mezhdunarodnoj Kondrat'evskoj konferencii, posvyashchennoj 125-letiyu so dnya rozhdeniya N. D. Kondrat'eva*, Moscow, 25–30 September, 2017, pp. 158–169 (in Russian).
8. **Zatuliveter Yu. S.** New Synergy of Long Waves by N. D. Kondratiev, *Trudy 11-j Mezhdunarodnoj Kondrat'evskoj konferencii "Vozможные сценарии будущего России i mira: mezhdisciplinarnyj diskurs" 2020*, Moscow, MOOSIPNN N. D. Kondrat'eva, 2020, pp. 169–183, DOI: 10.46865/978-5-901640-34-0-2020-169-183 (in Russian).
9. **Skala K., Sojat Z.** The Rainbow: Integrating Computing into the Global Ecosystem, *MIPRO 2019 (20–24 May 2019. Opatija. Croatia)*, pp. 233–240. DOI: 10.23919/MIPRO.2019.8756947.
10. **Zatuliveter Yu. S., Fishchenko E. A.** Towards Computer-network Architectures for the digital transformation of large-scale systems, *Program Systems: Theory and Applications*, 2020, vol. 11, no. 3(46), pp. 85–131. DOI: 10.25209/2079-3316-2020-11-3-85-131 (in Russian).
11. **The dotcom** crisis of the 2000s is a bubble that has burst. Causes and consequences, 2021, available at: <https://internetboss.ru/krisis-dotkomov/>
12. **Burks A. W., Goldstine H. H., von Neumann J.** Preliminary discussion of the logical design of an electronic computing instrument, *A. H. Taub, John von Neumann Collected Works*, The Macmillan Co., New York, 1963. Volume V, pp. 34–79.
13. **Yoo C. S.** Moore's Law, Metcalf's Law, and the Theory of Optimal Interoperability, 2016, available at: <https://ctlj.colorado.edu/wp-content/uploads/2015/12/v2.Final-Yoo-11.25.15-JRD.pdf>.
14. **Zhang X. Z., Liu J. J., Xu Z. W.** Tencent and Facebook Data Validate Metcalf's Law, *Journal of computer science and technology*, 2015, vol. 30, is. 2, pp. 246–251, DOI: 10.1007/s11390-015-1518-1.
15. **Everything** you need to know about Digital Platforms, 2016, available at: <http://stephane-castellani.com/everything-you-need-to-know-about-digital-platforms/>
16. **Srikanth.** Top 10 Cloud Computing Challenges in 2020, 30.09.2019, available at: <https://www.techexpert.com/top-10-cloud-computing-challenges-in-2020/>
17. **Ray P. P.** An introduction to dew computing: Definition, concept and implications, *IEEE Access*, 2017, vol. 6, pp. 723–737, DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2775042.
18. **Solow R.** We'd Better Watch Out, *New York Review of Books*, July 12, 1987, available at: <http://digamo.free.fr/solow87.pdf>
19. **Productivity** paradox, available at: https://ru.abcdef.wiki/wiki/Productivity_paradox (in Russian).
20. **Zatuliveter Yu. S.** Computer Basis of Network-centric Control, *Trudy 2-j Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem "Tekhnicheskie i programnye sredstva sistem upravleniya, kontrolya i izmereniya"*, UKI-2010, Moscow, ICS, 2010, pp. 17–37 (in Russian).
21. **Zatuliveter Yu. S., Fishchenko E. A.** Problems of Programability, Security and Reliability of Distributed Computing and Network-centric Control. Part 2: the Approach to General Solution, *Problemy upravleniya (Control Sciences)*, 2016, no. 4, pp. 58–69 (in Russian).
22. **Zatuliveter Yu. S., Fishchenko E. A.** The Universal Algorithmic Space of Distributed and Parallel Computing, *Informacionnye Tekhnologii i Vichislitel'nye Sistemy*, 2018, no. 2, pp. 78–93, DOI: 10.14357/20718632180207 (in Russian).
23. **Zatuliveter Yu. S., Fishchenko E. A.** Towards Strategic Reengineering the Global Computer Environment for Control of Sustainable Development of Social Systems, *IFAC-PapersOnLine*, 2021, vol. 54, no. 13, pp. 129–133, DOI: 10.1016/j.ifacol.2021.10.432.