

ПРОБЛЕМЫ ПРОГРАММИРУЕМОСТИ, БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ И СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Ч. 1. Анализ проблематики

Ю.С. Затуливетер, Е.А. Фищенко

Проанализированы общесистемные проблемы, возникающие из-за разнородности и глобальной сильносвязности компьютерной среды. Показано влияние комбинаторной сложности проблем функциональной интеграции разнородных сетевых ресурсов при создании больших систем распределенных вычислений и сетецентрического управления. Выделены компьютерные аспекты проблем устойчивого развития социосистем в условиях глобальной информационной сильносвязности. Рассмотрены общие аспекты проблем обеспечения информационной безопасности: технический (кибербезопасность), социальный (влияние сверхпотоков информации) и личностный (на примере феномена цифровой деменции). Обозначены ключевые направления совершенствования компьютерных сред, в том числе организации надежных вычислений в компьютерных средах с ненадежными компонентами.

Ключевые слова: глобальная компьютерная среда, сильносвязность, разнородность, комбинаторная сложность, интеграция, распределенные вычисления, сетецентрическое управление, социосистема, устойчивое развитие, математически однородное алгоритмическое пространство, бесшовное программирование, кибербезопасность, надежные вычисления, цифровая деменция.

ВВЕДЕНИЕ

Связанные сетями компьютеры образовали глобальную компьютерную среду (ГКС), которая привнесла в мировую социосистему беспрецедентный феномен глобальной информационной сильносвязности¹, коренным образом меняющий глубинный характер ее устойчивого развития. В сильносвязном мире ситуация меняется слишком быстро, а масштабы спонтанных изменений и объемы фоновой и сопутствующей информации слишком велики.

По мере роста сфер влияния ГКС в отсутствие универсальных средств полномасштабной переработки распределенной информации в сколь угодно больших сетях сильносвязность развивается сти-

хийно. Это ведет к экспоненциальному росту крайне разнородной по формам представления, слабо переработанной информации. В процессах управления социосистемами на порядки увеличивается число неконтролируемых степеней свободы, до неприемлемых уровней повышаются информационные (неэнергетические) шумы. Качественное управление устойчивым функционированием и развитием социосистем в условиях стихийного роста масштабов сильносвязности становится невозможным.

Прежний опыт и инструментарий управления в условиях относительно слабой (очаговой) информационной связности не дает ответы на новейшие вызовы. В условиях глобально сильносвязного информационного пространства с качественно новой метрикой «все влияет на все и сразу» в интенсивных потоках множественных локальных событий спонтанно возникают и быстро распространяются непредсказуемые цепочки неконтролируемых при-

¹ Термин «сильносвязность» вводится для компактного выражения характеристического свойства ГКС, которая стала принципиально новым кибернетическим объектом, оказывающим тотальное воздействие на все сферы жизнедеятельности.

чинно-следственных связей, которые все чаще вызывают лавины деструктивных процессов на глобальных уровнях.

В новейших условиях, в которых функционирует огромное разнообразие сильносвязанных многоуровневых процессов жизнедеятельности, прежние методы, модели и структуры управления функционированием и развитием социосистем во многом утрачивают действенность, что ведет к потере управляемости и устойчивости социосистем.

1. НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И ОБЩИЙ ПОДХОД К ИХ ПАРИРОВАНИЮ

Оборотной стороной компьютерной революции становится собственный, *внутрикомпьютерный* кризис ГКС, проявлением которого стал экспоненциальный рост стихийных потоков плохо организованной, крайне разнородной и противоречивой информации. Перепроизводство некачественной информации ложится непосильной ношей на существующие экономические и властные институты, структуры и системы управления, а также, что крайне нежелательно, на каждого человека и общество в целом.

Результат «перегрева» социосистем налицо — кризис перепроизводства слабо переработанной (потому «неудобоваримой» в силу неподготовленности для восприятия и принятия решений человеком) информации и, как следствие, резкое снижение качества управления и неконтролируемый процесс хаотизации миропорядка.

Свидетельство тому — непрерывная, начиная с 2000-х гг., череда новейших мировых кризисов с нарастающей амплитудой. Она парадоксальным образом совмещается на фоне экстенсивного роста масштабов использования ГКС со сверхбыстрым (на 1—3 порядка и более) ростом характеристик всех компонентов компьютеров и сетей. Перебивая подчиняться инструментам рыночного — финансово-экономического — и политического регулирования, социальные кризисы переходят в разрушающую фазу трудноконтролируемых военных конфликтов.

В докладе Комиссии по измерению эффективности экономики и социального прогресса [1], инициированной президентом Франции и возглавленной нобелевскими лауреатами по экономике, представлены результаты анализа причин снижения устойчивости социосистем. Показано, что макроэкономические показатели, среди которых ВВП занимает центральное место, не дают адекватного отражения всей совокупности сильносвязанных социально значимых процессов. Это приводит к недооценке существенных, но не учитываемых факторов влияния и искажению картины в целом. Выводы Комиссии в том, что на смену существу-

ющим методам сбора выборочной информации и проведения оценок (часто субъективных) по ограниченному набору параметров, уже не представляющих на данном этапе развития системной полноты, необходимо переходить к замерам и сбору по возможности полной объективной информации обо всех социально-значимых проявлениях.

Без такого расширения наборов учитываемых параметров, как мы полагаем, невозможно учитывать новые степени свободы, появляющиеся в условиях глобальной информационной сильносвязности. Без оперативного сбора необходимой информации и ее своевременной полномасштабной переработки становится невозможным формирование адекватных оценок текущего состояния социосистем и управление их устойчивым развитием.

Напрашиваются вопросы. Первый: «Почему мировая социосистема (с весьма высокими уровнями достижений экономической сильносвязности в мировом разделении труда) в своем перманентном кризисе становится невосприимчивой к опережающему и практически неограниченному росту информационно-вычислительного и системообразующего потенциала ГКС?». Второй: «Почему мировая рыночная система вместо кардинального рывка вперед на основе сверхбыстро растущего потенциала ГКС оказывается бессильной в противодействии стихийному, системно несбалансированному и, потому, деструктивному воздействию феномена глобальной информационной сильносвязности?».

Ответы надо искать не только в несоответствии существующей рыночной инфраструктуры беспрецедентным требованиям глобальной информационной сильносвязности, но и, в первую очередь, в глубинном общесистемном кризисе собственно ГКС.

Мировые кризисы неуправляемой сильносвязности обретают общесистемный характер и не могут решаться в рамках какой-либо одной из существующих в большом количестве социально-экономических моделей, которые до сих пор стихийно формировались в условиях очаговой связности. Это, в основе своей, — антропоцентрические модели, которые в значительной степени замкнуты на специфические особенности и приоритеты сильно различающихся социумов.

Как правило, антропоцентрические модели ментально ориентированы, потому — противоречивы, изначально конфликты и трудно совместимы. Кроме того, ни одна из них по фундаментальным причинам не может неограниченно расширять географические сферы своего применения. Одна из таких причин — биологически и социально ограниченная пропускная способность человека и социумов в части переработки сверхбольших потоков и объемов информации.



Для формирования новой мировой экономической инфраструктуры устойчивого развития в условиях глобальной информационной сильносвязности необходим переход от специфических, трудно интегрируемых антропоцентрических моделей развития к универсальным — инфоцентрическим. Если антропоцентрические модели укореняются в крайне субъективных, антагонистичных полях человеческого сознания с априори ограниченной пропускной способностью, то «резиденцией» инфоцентрических моделей должны стать сверхбыстро растущие вычислительные ресурсы высокоорганизованной ГКС, обеспечивающей свободный алгоритмический доступ к ее практически неограниченному системообразующему потенциалу.

Такой переход, как очевидно, связан с преодолением колоссальной инерции всего предшествующего, крайне разнородного опыта развития. Важно, что этот переход невозможен с опорой только на антропоцентрические модели развития. Для массового перехода к инфоцентрическим моделям требуется трансформация крайне разнородной ГКС в единый, системно-целостный и универсально программируемый инструмент решения всей совокупности задач управления устойчивым развитием социосистем. Такая трансформация осуществляется научно-техническими компетенциями путем устранения фундаментальных внутрикомпьютерных причин кризиса несбалансированного роста ГКС.

Для перехода к инфоцентрическим моделям требуется пересмотр приоритетов, разработка таких кибернетических методов и моделей глобализации универсальной парадигмы управления в сколь угодно больших ресурсах ГКС [2, 3], которые соответствуют масштабам глобальной сильносвязности и способны составить инструментальную базу для формирования и устойчивого развития всего разнообразия сколь угодно больших систем различной природы.

Чтобы отвечать новейшим вызовам, необходим быстрый, но при этом эволюционный, переход от антропоцентрических моделей, входящих в массовые контуры управления при уже заведомо недостаточной своей пропускной способности, к инфоцентрическим моделям и реализующим их системам сетецентрического управления (СЦУ) устойчивым развитием социосистем в новейших условиях.

Такой переход возможен только на основе новых кибернетических методов и моделей управления устойчивым развитием сверхбольших систем в условиях глобальной сильносвязности и принципиально новых поколений сетецентрических технологий, способных максимально задействовать

совокупный вычислительный потенциал ГКС на воплощение этих методов и моделей [2, 3].

Инфоцентрические модели и сетецентрические системы ментально-инвариантны и обладают неограниченным потенциалом наращивания пропускной способности для переработки экспоненциально растущих потоков и объемов информации. В подавляющей своей части эти потоки и объемы должны перерабатываться алгоритмически с аккумулирующим использованием совокупного вычислительного потенциала ГКС (на основе глобализации универсальной парадигмы управления [2]).

Новые модели должны приходить на смену антропоцентрическим в тех сферах, где это необходимо в первую очередь. Прежде всего, они должны стать основой для преодоления кризиса перепроизводства плохо организованной информации в ГКС.

Крайняя разнородность информационных и вычислительных ресурсов ГКС составляет фундаментальное препятствие на путях к дальнейшему наращиванию масштабов алгоритмизации методов переработки сверхбольших потоков и объемов глобально распределенной информации.

Для его преодоления необходимо выявление и устранение компьютерных первопричин непрерывного воспроизводства разнородности форм представления данных, программ, процессов и систем в ГКС. В этом направлении открываются возможности максимального использования практически неограниченного вычислительного потенциала ГКС, необходимого для полномасштабной алгоритмической переработки глобально распределенной информации в целях устойчивого функционирования и развития мировой социосистемы.

В данной работе излагаются принципы общего подхода, обосновывающего стратегическое направление и следующие этапы развития ГКС.

Цели подхода:

- выявление и устранение причин глубокого внутрисистемного кризиса ГКС, оказывающего деструктивное влияние на развитие мировой социосистемы в условиях глобальной информационной сильносвязности;
- обоснование стратегии развития ГКС, направленной на формирование в ней единого универсально программируемого и кибербезопасного алгоритмического пространства распределенных вычислений и СЦУ, способного обеспечить интеграцию и аккумуляцию совокупных ресурсов сколь угодно больших сетей для решения всего разнообразия задач управления устойчивым развитием социосистем в условиях глобальной сильносвязности.

2. ЗАДАЧИ И СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ГЛОБАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Этапы развития ГКС, которая связывает разнообразные классы компьютерных устройств — от смартфонов до суперкомпьютеров, представлены в таблице.

Заливкой в последней строке таблицы выделены перспективные направления новых этапов развития ГКС, которые предлагаются, исследуются и обосновываются в настоящей работе.

Суммарный потенциал производительности миллиардов компьютерных устройств ГКС в настоящее время составляет более 1—2 эксафлопс (10^{18} флопс), совокупный объем памяти — более 1—2 экзабайт (10^{18} байт) оперативной памяти и сотни экзабайт долговременной памяти.

В составе ГКС развиваются сети мобильной связи (миллиарды абонентов), а также разнообразные сети с интеллектуальными сенсорами, исполнительными устройствами и агрегатами (роботы, 3d-принтеры и др.). Интеграция их в общее сетевое пространство увеличивает не только вычислительный потенциал ГКС, но и привносит новые функциональные возможности, способы и масштабы охвата всех сторон жизнедеятельности социосистем, связанные с разнообразными взаимодействиями социального, виртуального и физического миров [4, 5]. Это — перемещения вычислительных узлов, разнообразные производственные процессы, портативные универсальные терминалы, мультисеточная сенсорика и мониторинг, навигация, управление, робототехника и многое другое.

Отметим, что в настоящее время вследствие крайней разнородности аппаратных, системных и программных средств совокупный системообразующий и вычислительный потенциал ГКС раскрывается лишь в незначительной степени. В перспек-

тиве ГКС во всей системно-целостной совокупности интегрированных ресурсов может и должна стать универсальным, общеиспользуемым инструментом решения практически неограниченного разнообразия задач, распределенных вычислений и СЦУ.

Примером весьма перспективных, но далеких от полномасштабного решения задач в ГКС, служат концепции:

- «Internet of Things» [4] (Интернет вещей), определяет стратегию массовой реализации через сети прямых взаимодействий машин, предметов и других объектов, составляющих большие и сверхбольшие техногенные системы, требующие эффективных средств и методов функциональной и системной интеграции в условиях крайней разнородности ресурсов глобальных сетей;
- «Internet of Everything» [5] (всеобъемлющий Интернет) — дальнейшее развитие концепции Internet of Things, показывающее стратегические направления сетевой интеграции людей, процессов, данных и вещей, которые могут открыть качественно новые возможности для гармонизации социальных, техногенных и природных процессов (емкость рынка до 2022 г. оценивается ~ \$14,4 трлн. [6]);
- «Net-Centric Computing» (сетевый компьютер) [7] — направление исследований, нацеленных на поиск эффективных моделей организации распределенных вычислений в сетях, для реализации упомянутых концепций и развития их алгоритмических возможностей.

Однако для общего решения задач полномасштабной переработки глобально распределенной информации требуется решение ряда основополагающих проблем преодоления внутреннего общесистемного кризиса стихийно-несбалансированного развития ГКС.

Развитие ГКС: от информационной глобализации сетевого пространства к алгоритмической

Период, гг.	Размер ГКС (число компьютеров)	Модель глобализации	Функциональные возможности	Свойство модели
1990-е	10^5 — 10^7	Информационно-коммуникационная на основе гипертекста (WWW)	Глобализация действий обмена и накопления распределенной информации (без глобализации действий ее переработки)	Алгоритмическая полнота (универсальность) не распространяется на сетевые ресурсы
2000-е	10^8 — 10^9	Частично распределенные вычисления «Grid», «Cloud»	Предоставление алгоритмических сервисов в асимметричных сетевых архитектурах «Клиент — Сервер»	Ограниченное распространение алгоритмической полноты на сетевые ресурсы (от $\sim 10^1$ до $\sim 10^4$ компьютеров)
10-е и далее	10^{10} — 10^{11} и более	Вполне распределенные вычисления в сетевой архитектуре «Peer-to-Peer»	Единое, бесшовно программируемое алгоритмическое пространство	Алгоритмическая полнота распространяема на сколь угодно большие сети



Несбалансированность выражается в том, что из трех фундаментальных видов действий с информацией — хранение, передача и преобразование, лежащих в основе любых информационных процессов, в настоящее время в сетях системно глобализованы только два — хранение и передача. Отсутствие универсальных, системно целостных средств полномасштабной переработки глобально распределенной информации — это одна из главных внутрикомпьютерных причин перепроизводства низкокачественной информации.

Для создания инструментальных основ предотвращения коллапса мировой социосистемы путем перехода к инфоцентрическим моделям устойчивого развития весьма актуальной становится проблематика выявления и устранения первопричин глубинного общесистемного кризиса собственно ГКС. Преодоление кризиса несбалансированного развития ГКС сделает возможной компьютерно-сетевую глобализацию универсальной парадигмы управления посредством средств и методов СЦУ в едином, универсально и бесшовно программируемом алгоритмическом пространстве [2, 3].

По сути это станет системно целостной и функционально полной глобализацией всех трех видов фундаментальных действий с информацией.

Средства и методы СЦУ, благодаря динамически формируемой общей информационной картины событий, нацелены на кардинальное повышение эффективности управления большими и сверхбольшими системами различного назначения в едином сильносвязанном сетевом пространстве.

Системы СЦУ предполагают [3], что каждый стационарный/мобильный объект в рамках своей «компетенции» в дополнение к автономно собираемой им информации обеспечивается через сети необходимой для решения его задач информацией, собранной и переработанной другими объектами. На основе совокупной информации каждый из объектов в соответствии со своими «полномочиями» может автономно вырабатывать согласованные управляющие воздействия, направленные на достижение общей цели.

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

Несмотря на то, что наиболее систематическое развитие концепция СЦУ до сих пор получает в рамках военной тематики [8], ее применимость посредством глобализации парадигмы управления в едином алгоритмическом пространстве потенциально распространяется [2, 3] на все сферы влияния ГКС. Отчасти они представлены концепция-

ми «Internet of Things», «Internet of Everything», «Net-Centric computing» [4–7].

Современный компьютерно-сетевой инструментарий, такой как Grid- [9, 10] и Cloud- [11–13] технологии (см. таблицу), для отдельных классов узкопрофилированных комплексов задач позволяют лишь в ограниченных масштабах создавать распределенные вычислительные системы априори той или иной проблемной ориентации.

Распределенные Grid-системы [9, 10], в отличие от обычных (кластерных) высокопроизводительных вычислительных систем, представляют собой совокупность отдаленных, как правило, расположенных в разных географических точках, разнородных компьютерных ресурсов, связанных сетями для достижения общей цели, например, для обработки, хранения и анализа экспериментальных данных Большого адронного коллайдера [9].

В Grid-вычислениях каждый узел (компьютер сетки) настроен на выполнение собственных задач, что характерно для сетевых архитектур «Peer-to-Peer» [7, 10]. Сетки часто строятся с целью совместного применения библиотек программного обеспечения. Отдельная сетка может быть посвящена конкретной проблеме либо может использоваться в нескольких целях. Размер сеток, как правило, от ~ 10 до $\sim 10^4$ узлов.

Cloud-технологии [11–13] (облачные вычисления) предоставляют информационные и вычислительные ресурсы серверных центров посредством доступа к данным и программам через Интернет. Серверные центры представляют собой локальные вычислительные сети, связывающие от десятков до десятков тысяч серверов (в зависимости от потребности в суммарной производительности).

Облачные технологии концентрируют сложные системно-алгоритмические решения на мощных серверных центрах. Обеспечивая многочисленных пользователей-клиентов алгоритмическими сервисами в режиме отдаленного доступа, они освобождают пользователей от многих проблем системного обслуживания и наращивания алгоритмического потенциала.

Примерами крупных облачных веб-сервисов служат сервисы «Amazon EC2» [14], «Xen» [15], «Google Cloud», «IBM Cloud», «Microsoft Cloud».

Принципиальные недостатки существующих методов и средств создания Grid- и Cloud-систем:

- разнородность аппаратных и программных платформ ведет к опережающему росту системной сложности функциональной интеграции вычислительных ресурсов;
- необходимость априорной специализации и сопутствующих ей жестких ограничений состава и типов объектов, их функций, что способствует наращиванию разнородности ГКС на общесистемных уровнях;

- комбинаторная сложность интеграции разнородных ресурсов становится непреодолимым препятствием для наращивания размеров таких систем (как правило, верхние ограничения $\sim 10^4$), что не позволяет распространять данные технологии функциональной интеграции на сколь угодно большие сети;
- невозможность «бесшовного» программирования распределенных вычислений в сколь угодно больших сетях;
- опережающий рост сложности проблем обеспечения кибербезопасности.

Разрабатываемые с помощью существующих технологий системы распределенной обработки данных в глобальных сетях в большинстве случаев имеют корпоративное назначение. Они строятся посредством дополнительных многослойных программных надстроек над стандартными операционными системами (ОС) и сетевыми протоколами. В результате получаются разнородные, громоздкие, уязвимые в отношении кибератак программные решения с чрезмерным числом степеней свободы управления, выведенных на человека. Трудоемкость, а значит, себестоимость и сроки их разработки по мере увеличения масштабов систем имеют тенденцию к опережающему росту. Эксплуатация требует сложного администрирования на многочисленных, крайне разнородных системных и сетевых уровнях.

Такие решения, как правило, трудно адаптируются к структурным изменениям внешнего контекста глобального информационного пространства, тенденции развития которого не подчиняются внутрикорпоративным интересам. В результате длительных сроков разработки таких систем информационная среда, в которой они должны функционировать, может существенно изменить свои свойства, что приводит к утрате актуальности и обесцениванию инвестиций и результатов усилий многих разработчиков.

В существующей компьютерной среде глобализация действий передачи и хранения распределенной информации не уравновешивается полномасштабной глобализацией возможностей ее универсальной и «бесшовно» программируемой переработки.

Термин «бесшовное» программирование требует пояснений.

В настоящее время функциональная интеграция систем обработки распределенной информации в разнородной среде предполагает формирование метауровня управления в виде системной надстройки, которая обеспечивает взаимодействие и совместную работу разнородных компонентов и подсистем. Предполагается воплощение единого формализма, в котором осуществляется метауровневое программирование, нацеленное на интегра-

цию разнородных ресурсов, изначально не предназначенных для совместной работы.

Такой формализм должен обладать требуемым для конкретных систем функционалом и допускать возможность согласования форматов взаимодействия разнородных компонентов. При этом посредством единого метауровневого формализма «сшиваются» стыки разнородной среды и, тем самым, обеспечивается возможность «бесшовного» программирования.

Такие специальные решения в отсутствие единой универсальной модели распределенных вычислений до сих пор доминируют в задачах интеграции гетерогенных сетей. Каждое из них, охватывая заведомо ограниченный фрагмент ГКС, требует своего формализма, своих дополнительных слоев системного ПО, что, очевидно, ведет к дополнительному росту разнородности ГКС.

В условиях комбинаторной сложности задач интеграции разнородных ресурсов такие решения в принципе не могут распространяться на сколь угодно большие сети.

В связи с этим в качестве альтернативы чрезмерно сложным специфическим решениям обеспечения априори ограниченной «бесшовности» программирования возникает острая необходимость общего подхода к формированию в сколь угодно больших сетях единого, универсального и бесшовно программируемого алгоритмического пространства распределенных вычислений.

Несбалансированное развитие ГКС, как уже говорилось, проявляется на фундаментальных уровнях.

Прежде всего, оно приводит к перепроизводству плохо организованной информации, что ведет к неконтролируемому росту «информационного шума», который в условиях глобальной связности ведет к снижению качества управления и потере устойчивости мировой социосистемы в целом и ее частей;

Далее, в условиях изначальной разнородности ресурсов ГКС задачи системно-функциональной интеграции вычислительных систем, а также программирования распределенных вычислений в них, являются существенно многовариантными задачами, которые, как известно, обладают комбинаторной сложностью своих решений. Поэтому с увеличением размеров таких систем сложность их создания быстро растет, что находит выражение в давно известном термине «комбинаторное проклятие» размерности. Это понятие в полной мере применимо к массовым индустриальным проблемам системно-функциональной интеграции крайне разнородных вычислительных и информационных ресурсов существующей ГКС.

Системные свойства разнородных компьютерных сред и технологий их программирования не



отвечают требованиям свободной масштабируемости распределенных вычислений и процессов управления, их универсальной, общедоступной бесшовной программируемости. Преодоление комбинаторной сложности в ходе интеграции и программирования сетевых ресурсов с увеличением размеров сетей требует неограниченного роста средств и времени.

Убедительным примером непреодолимости комбинаторного проклятия размерности при интеграции ресурсов разнородных сетей существующими технологиями, как показано в работе [3], является комплексная исследовательская программа министерства обороны США «Future Combat Systems» (FCS).

В начале 2000-х гг. на нее было выделено \$177 млрд. Одна из главных задач программы FCS — формирование интегрированного пространства СЦУ, охватывающего все рода войск. В течение неполного десятилетия, несмотря на обильное финансирование, привлечение лучших технологий и специалистов, «лобовые» методы и средства интеграции разнородных ресурсов и систем не смогли дать решение этой центральной задачи FCS.

В 2008 г. на фоне мирового финансового кризиса программа была закрыта. Задача формирования сильносвязного, бесшовно программируемого алгоритмического пространства СЦУ до сих пор остается нерешенной даже в рамках отдельного рода войск.

Это — свидетельство вынужденного признания ограниченности системообразующего потенциала технологий «лобового» преодоления комбинаторной сложности интеграции разнородных ресурсов в сетях. Фундаментальные причины их ограниченности до сих пор не осознаны компьютерной индустрией. По сути, мы видим констатацию того факта, что «лобовые» технологии подошли к исчерпанию своего системообразующего потенциала и неспособны обеспечивать прогресс в наращивании масштабов применения методов и средств СЦУ в сколь угодно больших сетях.

Для дальнейшего продвижения необходимо выявление и устранение фундаментальных (надтехнологических) причин непрерывного воспроизводства разнородности и сопутствующего комбинаторного проклятия размерности.

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

этих условиях становится все менее эффективной. Уже близки те критические уровни, когда обеспечение эффективной защиты от вредоносных проникновений на массовых уровнях существующими методами и средствами становится невозможным.

Прямым следствием комбинаторной сложности разнородной компьютерной среды становятся также рост негативного воздействия на здоровье массовых пользователей. Растущая по мере увеличения масштабов применения сетей сложность внутрикомпьютерных проблем неминуемо отражается в интерфейсах массового взаимодействия человека с машиной. Рядовые пользователи вынуждены брать на себя растущую дополнительную нагрузку не только по переработке все более интенсивных потоков плохо организованной потребительской информации, но и по управлению многочисленными системными настройками, сервисами. Психологическая нагрузка на пользователей растет и уже превышает природные защитные барьеры.

Количество пользователей при массовом использовании гаджетов исчисляется миллиардами. В результате — новейшие виды заболеваний. Один из примеров — цифровая деменция (digital dementia) [16, 17]. Все больше молодых пользователей страдают несвойственной возрасту потерей памяти, расстройством внимания, когнитивными нарушениями, депрессией, снижением самоконтроля. В мозгу пациентов происходят изменения, схожие с теми, что появляются после черепно-мозговой травмы или на ранней стадии возрастного слабоумия.

Источник новых вызовов — крайне разнородная, системно и функционально несбалансированная ГКС. Полномасштабные ответы на них возможны только на путях совершенствования ее фундаментальных общесистемных и функциональных качеств на основе новых принципов формирования единого, математически однородного, универсально программируемого и кибербезопасного алгоритмического пространства в сколь угодно больших сетях и соответствующих программно-аппаратных средств управления ГКС.

3. КЛЮЧЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СРЕД

Основным инструментом переработки глобально распределенной информации являются системы распределенных вычислений, которые решают задачи с вовлечением большого количества связанных сетями компьютерных устройств различных классов — от «умной пыли», смартфонов и ПК до суперкомпьютеров.

Выделим и рассмотрим некоторые из ключевых проблем на путях наращивания масштабов вовле-

чения вычислительных ресурсов ГКС в процессы переработки распределенной информации.

Первая проблема. Ведущие в этой сфере Grid-и Cloud-технологии [9—15] предназначены для очаговой системно-функциональной интеграции ресурсов гетерогенных сетей. Они позволяют интегрировать для осуществления распределенных вычислений от десятков до десятков тысяч компьютерных устройств. Отметим, что в условиях разнородности этими технологиями покрывается лишь ничтожная часть совокупных вычислительных ресурсов глобальных сетей, что не удовлетворяет опережающий спрос на расширение масштабов переработки экспоненциально растущих потоков глобально распределенной информации.

Главным препятствием на путях дальнейшего наращивания масштабов переработки распределенной информации в рамках очаговых технологий становятся фундаментальные барьеры комбинаторной сложности интеграции разнородных сетевых ресурсов. По этой причине у них нет долгосрочных перспектив. На смену им должны приходиться принципиально новые подходы и технологии, не обремененные барьерами комбинаторного проклятия размерности.

Вторая проблема. В настоящее время отсутствуют индустриально значимые модели распределенных вычислений в сколь угодно больших сетях и соответствующие средства бесшовного программирования [2, 3]. В этом состоит причина глобального дисбаланса в развитии ГКС. Он проявляется себя в неконтролируемом экспоненциальном росте потоков и объемов крайне разнородной, слабо переработанной и плохо организованной глобально распределенной информации, которая превращается во всемирную «свалку» разрозненных данных. В отсутствие такой модели и средств бесшовного программирования кризис перепроизводства слабо структурированной информации (непригодной для глубокой алгоритмической переработки) становится непреодолимым препятствием на путях к устойчивому развитию мировой социосистемы в условиях глобальной информационной сильно-связности.

Третья проблема. По мере увеличения масштабов интеграции разнородных сетевых ресурсов системная сложность переработки распределенной информации растет опережающими темпами. В отсутствие формально строгих методов и средств композиции единого целого из разнородных фрагментов внутренняя структура таких систем обретает вид «лоскутного» одеяла. В отсутствие системной гарантии полноты и непротиворечивости функций в таких системах неизбежно накапливаются неучтенные ошибки и нестыковки. В них на разных уровнях — аппаратных средств, инструментов программирования, ОС и сетевых прото-

колов — неизбежно возникают скрытые функции системных уровней управления вычислительными ресурсами и каналы нелегального доступа к ним.

Неконтролируемый рост внутрикомпьютерной и общесистемной сложности больших вычислительных сред в разнородных сетях служит основой для несанкционированного использования сетевых ресурсов. Поэтому, чем масштабнее системы распределенной обработки, тем сложнее обеспечивать их кибербезопасность. Их защита от несанкционированного вмешательства обретает чрезвычайную остроту.

Существующие способы обеспечения защиты посредством многочисленных обновлений носят характер несистемного латания дыр. Методы нанесения заплаток на заплатки явно не адекватны темпам опережающего роста системной сложности ГКС.

Четвертая проблема. Надежность вычислений и процессов управления в распределенных вычислительных системах является очень важной характеристикой. Отказ сетевых компонентов может приводить к катастрофическим последствиям. Надежная распределенная система должна быть отказоустойчивой, насколько это возможно [18].

Обеспечение надежности распределенных вычислений в ненадежных вычислительных средах составляет одну из центральных задач качественного совершенствования ГКС. Изначальная ненадежность вычислительных сред связана с недетерминированностью вхождения вычислительных ресурсов в состав ГКС. Она определяется неустраняемыми причинами изменения состава дееспособных компьютеров и связей между ними и характеризуется множеством разноплановых проявлений нестационарности текущего состава и состояния компьютерных устройств и сетевых коммуникаций. Среди них:

- случайным образом меняющийся состав компьютерных устройств, ведущих вычисления, и конфигураций связи между ними (включение/выключение, отказы);
- внешние (стихийные или спланированные) деструктивные воздействия на привлеченные к распределенным вычислениям сетевые ресурсы.

Наличие избыточных связей между компьютерами ГКС дает необходимый резерв для программных методов повышения надежности распределенных вычислений в сетях в условиях неустраняемой недетерминированности вхождения вовлекаемых вычислительных узлов и связей между ними.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Глобальная компьютерная среда (ГКС) и связанный с ней феномен глобальной информационной сильно-связности оказывают беспрецедентное по масштабам и пока плохо контролируемое вли-



яние на мировую социосистему. В современном своем состоянии ГКС становится уже не столько инструментом развития, сколько генератором беспрецедентных вызовов и глобальных кризисов, на которые пока не существует методов и средств полномасштабных ответов. Это и экспоненциальный рост потоков и объемов плохо организованной информации, превышающих пропускную способность человека и социумов в части их переработки, и трудно разрешимые в рамках существующих компьютерных принципов и технологий проблемы системно-функциональной интеграции разнородных ресурсов, и многоаспектные проблемы кибербезопасности и надежности.

Современная наука еще не выработала общих принципов, методов и подходов к рассмотрению ГКС как единого системно-целостного объекта. Для научного осмысления этого новейшего кибернетического объекта требуется проведение междисциплинарных исследований фундаментальных аспектов становления и развития собственно ГКС, а также тотального влияния ГКС на функционирование и развитие больших социальных и технологических систем в условиях глобальной информационной связности.

Одна из главных целей исследований — формирование универсального и общедоступного компьютерно-сетевых инструментария, направленного на функциональную интеграцию совокупных вычислительных ресурсов ГКС в целях управления устойчивым развитием больших распределенных систем в условиях глобальной информационной связности.

В первой части работы проведен анализ проблематики и первичное структурирование направлений исследования внутренних свойств ГКС, которые привели к функциональным диспропорциям в ее развитии, оказывающим негативное влияние на социальную среду. В результате сформулированы первоочередные задачи выявления и устранения компьютерных первопричин глобальных проявлений диспропорций на общесистемном уровне.

Во второй части данной работы будет представлен общий подход к качественному обновлению системообразующих возможностей ГКС посредством формирования в ней единого алгоритмического пространства сетевидного управления на основе новых принципов организации распределенных вычислений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Стиглиц Дж., Сен А., Фитусси Ж.-П.* Неверно оценивая нашу жизнь: почему ВВП не имеет смысла? / Доклад Комиссии по измерению эффективности экономики и социального прогресса. — М.: Изд-во Института Гайдара, 2016. — 216 с.
2. *Затуливетер Ю.С.* Проблемы глобализации парадигмы управления в математически однородном поле компьютерной информации // Проблемы управления. — 2005. — Ч. 1: № 1. — С. 2—10; Ч. 2: № 2. — С. 12—23.
3. *Затуливетер Ю.С.* Компьютерный базис сетецентрического управления // Тр. конф. «Технические и программные средства в системе управления, контроля и измерения» (УКИ'10). 18—20 окт. 2010 г., ИПУ РАН, Москва. — М., 2010. — С. 17—37. — URL: <http://cmm.ipu.ru/proc/Затуливетер%20Ю.С.%20.pdf> (дата обращения: 5.02.2016).
4. *Dave Evans.* The Internet of Things How the Next Evolution of the Internet is Changing Everything. 2011. — URL: http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf (дата обращения: 5.02.2016).
5. *Dave Evans.* The Internet of Everything. 2012. — URL: <http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoE.pdf> (дата обращения: 5.02.2016).
6. *Bradley J., Barbier J., Handler D.* Embracing the Internet of Everything to Capture your Share of \$14.4 trillion. CISCO, White Paper. 2013. — URL: http://www.cisco.com/web/PN/ciscoinnovate/pdfs/IoE_Economy.pdf (дата обращения: 5.02.2016).
7. *Somani A.K., Kher S.* Net-Centric Computing: The Future of Computers and Networking / IEEE International Conference ICDCIT 06, Bhubaneshwar, India, Dec.2006. — Springer LNCS, Book Chapter, «Distributed Computing and Internet Technology». 2006. — Vol. 4317. — P. 14—26. — URL: <http://epee.iastate.edu/dcnl/Publications/docs/SensorNW/DCNL-SN-2006-409.pdf> (дата обращения: 5.02.2016).
8. *Буренок В.М.* Технологии, вооружения, войны. — СПб.: Военная академия материально-техн. обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева, 2011. — 188 с.
9. *Кореньков В.В.* Распределенная система для обработки, хранения и анализа экспериментальных данных Большого адронного коллайдера // Тр. XII междунар. науч.-практ. конф. «Современные информационные технологии и ИТ-образование» / МГУ. — М., 2012. — С. 8—20.
10. *El-khatib Y.* Monitoring, Analysing and Predicting Network Performance in Grids (Thesis Ph.D.). Lancaster University. 2011. — URL: http://www.comp.lancs.ac.uk/~elkhatib/Docs/2011.09_PhD-Thesis.pdf (дата обращения: 5.02.2016).
11. *Иванников В.П.* Облачные вычисления в образовании, науке и госсекторе // Пленарные доклады 5-й междунар. конф. «Параллельные вычисления и задачи управления» РАСО'2010, Москва, ИПУ РАН. — М., 2010. — С. 75—81.
12. *Qusay F. Hassan.* Demystifying Cloud Computing // The Journal of Defense Software Engineering (CrossTalk). — 2011. — Jan / Feb. — P. 16—21.
13. *Zage D., Franklin D., Urias V.* What Does the Future Hold for Cloud Computing // The Journal of Defense Software Engineering. — 2013. — Sep / Oct. — P. 4—8.
14. URL: <http://aws.amazon.com/ec2/> (дата обращения: 5.02.2016).
15. URL: <http://www.xen.org/> (дата обращения: 5.02.2016).
16. *Шнунцер М.* Антимозг: цифровые технологии и мозг. — М.: АСТ, 2013. — 288 с.
17. *Gwinn J.* Overuse of Technology Can Lead to 'Digital Dementia'. 12.01.2013. — URL: <http://www.alzheimers.net/2013-11-12/overuse-of-technology-can-lead-to-digital-dementia> (дата обращения: 5.02.2016).
18. *Ahmed W., Wu Y.* A survey on reliability in distributed systems // Journal of Computer and System Sciences — 2013. — Vol. 79, iss. 8. — P. 1243—1255.

Статья представлена к публикации членом редсовета чл.-корр. РАН П.П. Пархоменко.

Затуливетер Юрий Семенович — канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, ✉ zvt@ipu.rssi.ru,

Фищенко Елена Алексеевна — канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, ✉ elena.fish@mail.ru,

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