

# ОБ УНИВЕРСАЛЬНОМ АЛГОРИТМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ

Затуливетер Ю.С., Фищенко Е.А.

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

*Аннотация: С учётом закономерностей развития глобальной компьютерной среды (ГКС) анализируются направления развития крупномасштабных систем. Излагаются принципы формирования в ГКС универсального алгоритмического пространства цифровой трансформации крупномасштабных систем.*

Ключевые слова: глобальная компьютерная среда, крупномасштабные системы, цифровая трансформация, сетевое управление, универсальное алгоритмическое пространство.

## **Введение**

Примерами крупномасштабных систем являются топливно-энергетические, транспортные, финансово-экономические системы, распределённые системы обработки информации и др. К классической проблематике крупномасштабных систем относятся системы "закрытого" типа. Это – проблемно-ориентированные социотехнические системы корпоративно-отраслевой направленности, которая жёстко фиксируется в административных структурах и технических средствах управления.

По мере расширения глобальной компьютерной среды (ГКС) растёт влияние крупномасштабных систем в разных сферах цифровой трансформации ("Интернет вещей", цифровая экономика, цифровизация финансовых систем и др.). Это крупномасштабные системы 2-го поколения, которые в обязательном порядке реализуются в ГКС. Их главное назначение – предоставление через ГКС открытого доступа к информационно-алгоритмическим сервисам массового потребления. В этом они существенным образом выходят за рамки требований для классических систем "закрытого" типа. Будучи открытой для прямого подключения массовых пользователей, каждая такая система в своём составе имеет и "закрытую" часть в виде "мозгового центра". Из-за наличия закрытой части системы 2-го поколения можно отнести к не вполне открытым системам. Реализация и развитие таких систем в решающей степени зависит от свойств и закономерностей развития ГКС.

## **1 Крупномасштабные системы второго поколения**

К крупномасштабным системам 2-го поколения можно отнести различные классы систем массового применения – Google, Amazon, Ali-baba, социальные сети насыщенные технологиями таргетированного маркетинга, системы шеринговой экономики (Uber и Яндекс-такси, каршеринг и пр.), криптовалютные системы и другие. Это – не вполне открытые системы, которые предоставляют развитые, но достаточно консервативные в отношении изменений функционала, одно- или многопрофильные наборы массовых проблемно-ориентированных алгоритмических сервисов. Априори ограниченные рамками проблемной ориентации функциональные возможности системных ядер таких систем фиксируются на этапах проектирования в специализированных компьютерно-сетевых архитектурах и закрываются от внешнего доступа.

В отсутствие альтернатив системы данного вида реализуются в крайне разнородных сетевых ресурсах ГКС. Разнородность ГКС на её нижних этажах (уровни разных, изначально несовместимых компьютерных и программных платформ) является непреодолимым препятствием на пути к универсальной модели бесшовно программируемых и кибербезопасных распределённых вычислений в сколь угодно больших сетях. Фундаментальное препятствие на этом пути – комбинаторная сложность системно-функциональной интеграции разнородных сетевых ресурсов. Выявление и устранение первоочередных причин непрерывного воспроизводства разнородности ГКС становится первоочередной задачей выявления и обеспечения долгосрочных перспектив развития крупномасштабных систем следующих поколений.

## **2 Основания и закономерности развития глобальной компьютерной среды**

В основе ГКС лежат две парадигмы универсальности. Первая – универсальный компьютер в модели Дж. фон Неймана. Вторая – стек сетевых протоколов TCP/IP, определяющих правила передачи пакетов данных в сетях общего назначения с узлами в виде универсальных компьютеров.

Классическая модель фон Неймана постулирует простейшие практически значимые универсальные правила автоматического исполнения программ любых алгоритмов во внутренних ресурсах компьютеров. Логически простые правила универсальных вычислений этой модели нашли массовое воплощение в микропроцессорах и компьютерах с микропроцессорными архитектурами.

Универсальность протоколов TCP/IP позволяет осуществлять кроссплатформенную передачу информации в сетях, связывающих компьютеры разных аппаратных и программных платформ. Они обеспечивают расширяемость и масштабируемость сетей, а также надёжную передачу информации между узлами сетей посредством динамической маршрутизации пакетов данных.

Разнородность сетевых ресурсов является фундаментальной причиной отсутствия системной целостности ГКС и внутрисистемных дисбалансов в её развитии. Главный дисбаланс проявляется в том, что ГКС, составленная из универсальных компьютеров, ни в целом, ни в любом своём сетевом подмножестве, изначально не обладает свойством бесшовной универсальной программируемости, которым обладает компьютер каждого узла. Одним из главных проявлений дисбаланса стал экспоненциальный рост потоков/объёмов глобально распределённой информации, непригодной для алгоритмической переработки в целях управления устойчивым развитием социосистем.

Несбалансированное развитие ГКС делает невозможным её использование в качестве универсально программируемой компьютерной среды для управления устойчивым развитием сколь угодно больших социотехнических систем. Это следует из кибернетического принципа Эшби [1], который утверждает, что управление становится возможным, если управляющая часть системы обладает функциональным разнообразием в степени не меньшей, чем управляемая.

### **3 Анализ технологий функциональной интеграции ресурсов гетерогенной ГКС**

Индустриальные технологии системно-функциональной интеграции разнородных ресурсов ГКС начинались с Grid-систем (вторая половина 90-х). К середине 00-х идеология Grid-систем исчерпала свой потенциал. На смену пришли облачные системы, которые стали ведущим индустриальным трендом развития сетевых технологий, предоставляющих информационно-алгоритмические сервисы.

В ГКС воплощаются как централизованные, так и децентрализованные системы, которые мы относим к крупномасштабным системам 2-поколения.

Основу централизованных систем составляют облачные технологии с клиент-серверными сетевыми архитектурами. По оценкам Accenture [2], стоимость такой крупномасштабной платформы достигает \$4,3 трлн. Это плата за 1,3 миллиона прямых сотрудников и несколько миллионов косвенно нанятых в компаниях-партнерах, которые обслуживают и развивают платформы.

Централизованным системам присущи принципиальные недостатки клиент-серверных архитектур. Это – сложный и дорогостоящий серверный центр. Концентрируя вычислительную мощь многих серверов, он стягивает на себя сетевой трафик, растущий пропорционально числу и активности пользователей. Пропускная способность каналов выхода серверов в глобальную сеть должна обеспечивать доступ потенциально неограниченного числа пользователей.

Другое направление развития не вполне открытых систем представлено децентрализованными системами, которые реализуются в рамках сетевых архитектур концептуально противоположного вида – одноранговых сетевых архитектур Peer-to-Peer (P2P). Они составляют основу пиринговых сетевых систем – распределённых систем с децентрализованным управлением. Их отличие от клиент-серверных систем состоит в отказе от специально выделяемого серверного центра (функции которого распределяются по имеющимся в составе ГКС узлам) и от разделения компьютерных узлов по исполнению серверных и клиентских функций.

В основу сетей P2P положены возможности максимального использования всего разнообразия функционально-вычислительных возможностей универсальных компьютеров каждого узла, а также всех ресурсов сетевых коммуникаций. Благодаря возможностям равномерного распределения вычислительной нагрузки по узлам, а потоков данных по линиям связи ГКС, при этом устраняются причины пиковых перегрузок отдельных фрагментов глобальной сети. Развитие пиринговых технологий – это путь не только к высокоэффективному использованию совокупных ресурсов ГКС, но и возможность формирования в ГКС максимальной комфортной для пользователей среды обитания, в которой могут быть обеспечены (при определённых, пока нереализованных, условиях) высокие уровни кибербезопасности и защиты личного информационного пространства.

В отсутствие общей, универсально программируемой модели распределённых вычислений применение P2P архитектур ограничено узкопрофильными системами с ограниченным функционалом (обмен файлами, сообщениями и платежами, криптовалюты, блокчейны и др.).

### **4 Концепция универсального алгоритмического пространства**

Существующую ГКС можно рассматривать как прообраз универсальной кибернетической среды сетевидного управления социотехническими системами с практически неограниченным алгоритмическим функционалом переработки распределённой информации. Принцип Эшби [1] определяет условие балансировки функциональных возможностей управляющей и управляемой

частей систем с управлением. В применении к ГКС он требует практически неограниченного алгоритмического функционала, обеспечивающего переработку глобально распределённой информации в целях управления всем разнообразием социотехнических систем. Такое наращивание требует от ГКС свойства функциональной полноты (универсальной программируемости).

Гетерогенная ГКС в целом, не обладая свойством функциональной полноты, которым обладает каждый её узел, в своём системно несбалансированном развитии входит в коллизию с принципом Эшби. В условиях разнородности результатом коллизии становится невозможность осуществления бесшовной универсальной программируемости любых подмножеств ГКС, выделяемых для реализации крупномасштабных систем. Взамен этого при создании таких систем реализуются компромиссные комбинаторно сложные решения интеграции разнородных ресурсов с обязательными ограничениями допустимых компьютерных платформ и наборов исполняемых системами функций (посредством их проблемной ориентации).

Для устранения внутренних дисбалансов развития ГКС необходима модель универсально программируемых распределённых вычислений в сколь угодно больших компьютерных сетях. Такая модель предложена в работе [3]. Она построена путём математического обобщения классической модели Дж. фон Неймана на основе компьютерного исчисления древовидных структур (ИДС). Построенная модель открывает возможности устранения комбинаторной компоненты сложности функциональной интеграции ресурсов ГКС путём формирования в ресурсах ГКС математически однородного и универсального, бесшовно программируемого и кибербезопасного алгоритмического пространства распределённых вычислений и сетецентрического управления [3,4].

В работах [3,4] на основе предложенной модели распределённых вычислений представлены принципы построения нового класса сетевых компьютеров, которые отличаются своей немикропроцессорной архитектурой. Система команд этих компьютеров реализует математический базис компьютерных операций, в основу которого положено ИДС.

Компьютеры предложенного класса составляют технический фундамент для формирования в ресурсах существующей ГКС математически однородного алгоритмического пространства. В своей архитектуре они закрепляют математическую унификацию форм представления и математический базис обработки глобально распределённой информации. При этом исчезает необходимость использования проблемно-ориентированных стандартов и технологий системно-функциональной интеграции разнородных ресурсов и, вместе с этим, необходимость наличия закрытой части.

## **Заключение**

В данной работе на примере сложившегося научного направления, изучающего развитие крупномасштабных систем, изложены элементы общей методологии имплантации представлений о фундаментальных закономерностях развития ГКС в разные сферы знаний. В результате проведённого исследования с учётом закономерностей развития и растущего влияния ГКС проведена классификация крупномасштабных систем. Определены направления их эволюции. Представлен подход к организации распределённых вычислений и сетецентрического управления в сколь угодно больших системах. Изложены принципы формирования в ГКС универсального и кибербезопасного алгоритмического пространства цифровой трансформации. Обозначены особенности и перспективы развития в этом пространстве крупномасштабных социотехнических систем.

## **Литература**

1. Эшби У. Р. Введение в кибернетику. – М.: ИЛ, 1959. – 432с.
2. <http://stephane-castellani.com/everything-you-need-to-know-about-digital-platforms/>
3. Затуливетер Ю.С. Компьютерный базис сетецентрического управления // Труды российской конференции с международным участием "Технические и программные средства в системе управления, контроля и измерения" (УКИ'10). – Москва, 18–20 октября 2010 г. – С. 17–37.
4. Затуливетер Ю.С., Фищенко Е.А. Проблемы программируемости, безопасности и надежности распределённых вычислений и сетецентрического управления Ч. 2. Подход к общему решению // Проблемы управления. 2016. № 4. – С. 58-69.