ОБЛАЧНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Бурый А.С.**

***Ключевые слова**: цифровая трансформация, облачные вычисления, туманные вычисления, единое информационное пространство, инфосфера, стратегия «Индустрия 4.0», киберфизические системы.*

Аннотация.

Цель работы: совершенствование научной и методической базы информационно-коммуникационных технологий для формирования единого информационного пространства облачных вычислений в концепции современных информационных систем в ходе цифровой трансформации инфосферы общества.

Метод: комплексное использование системного и сравнительного анализа на основе статистических выводов и приемов формально-логического построения распределенных информационных систем на базе облачных вычислений.

Результаты: на основе анализа факторов развития инфраструктуры облачных вычислений, а также роли технологий Интернета вещей в условиях цифровой трансформации информационно-коммуникационных технологий в социально-экономической сфере предложен концептуальный подход к оценке структурных возможностей формируемой в едином информационном пространстве распределенной облачной инфраструктуры на примере организации туманных вычислений.

Полученный подход может быть использован для оценки как существующей, так и перспективной цифровой среды.

DOI: 10.21681/1994-1404-2021-2-04-14

Введение

Существующая тенденция технологического «взрыва» в области как аппаратных, так и программных средств, а вместе с этим и коммуникационных технологий находит свое практическое воплощение в облачных вычислениях, которые активно развиваются в последнее время, предлагая пользователям все новые инновационные инструменты наступившей эпохи цифровой трансформации. Организация и реализация структур облачных вычислений позволяет интегрировать разнообразные информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) [8, 9, 22]. Это актуально для решения целевых задач в таких областях, как промышленное производство [26], медицина, образование [19], управление технологическими процессами предприятий [1, 7, 19] и поддержка информационного взаимодействия в государственных информационных системах (ИС) [4, 12], включая правовой аспект информационных коммуникаций [16, 18], а также обеспечение их безопасности [9, 23] и устойчивости (программной и аппаратной) действующих распределенных ИС [3, 8, 15] существующего киберпространства.

Интерес к облачным приложениям демонстрирует постоянный рост покупательского спроса на рынке облачных сервисов, который оценивался[1] в 75,2 *млрд долларов США* в 2020 г., а по прогнозам может достигнуть 375,4 *млрд долларов США* к 2027 г.

Технологические возможности облачных вычислений постоянно расширяются, что объясняется характером задач, решаемых в ходе цифровой трансформации, развитием гетерогенной операционной среды, протоколов передачи данных мобильных устройств, фактором эмерджентности сетевых структур, на базе которых реализуется современная аналитика: интеллектуальный анализ данных и методы исследования больших данных (*big data*) и связанные с ними методы извлечения знаний из данных (методы машинного обучения, методы глубокого обучения и др.).

Цель работы — показать место и роль облачных вычислений в концепции современных информационных систем в ходе цифровой трансформации инфосферы общества, включая аспекты индустриального развития экономики в рамках стратегии «Индустрия 4.0»[2].

[1] Global consumer cloud services industry. URL: https://www.reportlinker.com/ p04707133/?utm_source=GNW (дата обращения: 12.01.2021).

[2] «Четвёртая промышленная революция» — прогнозируемое (с 2011 г.) событие массового внедрения киберфизических систем в производство и обслуживание потребностей человека. См. URL: ru.wikipedia.org.

* ***Бурый Алексей Сергеевич,*** *доктор технических наук, эксперт РАН, директор департамента ФГУП «Российский научно-технический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия», г. Москва, Российская Федерация.*
E-mail: a.s.burij@gostinfo.ru

Таблица 1

Соотношение типов возможностей облачных вычислений и предоставляемых услуг

Категория служб облачных вычислений	Тип возможностей облака		
	Инфраструктура	Платформа	Приложение
Вычисление как услуга (CompaaS)	X		
Обмен информацией как услуга (CaaS)		X	x
Хранение данных как услуга (DSaaS)	x	X	x
Инфраструктура как услуга (IaaS)	x		
Сеть как услуга (NaaS)	x	X	x
Платформа как услуга (PaaS)		X	
ПО как услуга (SaaS)			x
База данных как услуга (DBaaS)	x		x
АО как услуга (HaaS)	x	X	

1. Облачные технологии: состояние и развитие

Облачные вычисления (*cloud computing*) представляют собой технологию сетевого доступа к масштабируемому и эластичному пулу[3] общих физических или виртуальных ресурсов в формате самообслуживания или с локальным администрированием (по требованию)[4].

Гибкость аппаратно-программного обеспечения с ориентацией под конкретного заказчика, экономичность поддержания информационной инфраструктуры, независимость от места расположения потребителей службы облачных вычислений (ОВ), надежность, безопасность, быстрая эластичность и масштабируемость делают ОВ весьма привлекательным и перспективным для потребителей проектом. Особенностью данного направления является то, что постоянно расширяется круг решаемых задач, синтезируя новые технологии и подходы в предоставлении ресурсов. При этом развиваются как первоначальные модели ОВ, связанные с выбором инфраструктуры (*Infrastructure as a Service*) — *IaaS*, баз данных или отдельных приложений (платформы — *Platform*) — *PaaS*, программного обеспечения (ПО) — *SaaS* (*Software as a Service*) [5, 6] (здесь и далее акроним *"aaS"* означает «как услуга»), так и предоставление новых видов услуг:

- по организации службы сетевых (*Network*) соединений — *NaaS*;
- по обеспечению безопасности (*Security*) данных, поступающих из «облака» — *SecaaS*, включая при необходимости антивирусное ПО;
- по ведению и структурированию баз данных (*DB*) — *DBaaS*;
- по организации восстановления (*Recovery*) данных и приложений — *RaaS*;
- предоставлению виртуальных рабочих мест (*Workplace*) — *WaaS*;
- по аренде аппаратного обеспечения (АО — *Hardware*) — *HaaS*, на котором заказчик, в отличие от *IaaS*, устанавливает свое ПО;
- ИТ-сервис как услуга — *EaaS* (*Environment-as-a-Service*), что еще называют «все как услуга», объединяя все вышеперечисленные сервисы.

Соотношение типов возможностей ОВ и предоставляемых услуг показаны в *табл.* 1, где знак «**x**» означает, что данная категория (модель) услуги принадлежит указанному в столбце типу возможностей облака[5], что одновременно подчеркивает гетерогенность архитектуры ОВ.

Дальнейшим развитием ОВ является технология *AaaS* (*Application aaS*), связанная с разработкой комплексных (композитных) приложений [2]. В этом случае потребителям услуг предлагается совокупность облачных сервисов[6] под конкретно решаемые задачи

[3] Пул (от англ. *pool*) в информатике — это набор ресурсов, конфигурируемых заказчиком в зависимости от используемого сервиса (время работы, объем данных и др.).

[4] ГОСТ ISO/IEC 17788—2016. Информационные технологии. Облачные вычисления. Общие положения и терминология. М. : Стандартинформ, 2019.

[5] Там же.

[6] Облачные вычисления второго поколения: Система CLAVIRE. URL: https://habr.com/ru/company/ spbifmo/blog/319688 (дата обращения 12.03.2021).

Таблица 2

Характеристики систем Интернета вещей

Классификация	Характеристика
Характеристики доверия к системе ИВ	Доступность
	Конфиденциальность
	Целостность
	Защита персональных данных
	Достоверность
	Способность к восстановлению
	Безопасность
Характеристики архитектуры системы ИВ	Компонуемость
	Разделение функций исполнения и управления
	Неоднородность
	Сильно распределенные системы
	Поддержка устаревших компонентов
	Модульность
	Подключаемость сети
	Масштабируемость
	Возможность совместного использования
	Уникальная идентификация
Функциональные характеристики системы ИВ	Точность
	Автоматическое конфигурирование
	Соответствие нормативным требованиям
	Информированность о контенте
	Характеристики данных: объем, достоверность, скорость, изменчивость и разнообразие
	Обнаруживаемость
	Гибкость
	Управляемость
	Сетевая связь
	Управление и эксплуатация сети

функциональных подсистем (организационного управления, обработки данных, принятия решений и др.) в составе автоматизированных информационных систем и комплексов[7] [13, 14].

2. Интернет вещей и технологии «Индустрии 4.0»

Цифровая трансформация (ЦТ) — это процесс интеграции цифровых технологий во все аспекты деятельности организаций, требующий коренного изменения в технологии, принципах разработки и создания новых продуктов и услуг. Этот процесс затрагивает не только экономические вопросы, но и сферу образования, правового регулирования и другие направления. В основе ЦТ лежат такие технологии, как *облачные вычисления, большие данные, Интернет вещей и искусственный интеллект*, причем успехи и достижения в каждом из указанных направлений тут же применяются в постоянно развивающемся информационном пространстве.

Термин «Интернет вещей» (ИВ) или *Internet of Things* (IoT) стал популярным в конце 1990-х гг. после того, как несколько технологий, связанных с разработкой датчиков и управлением машинами, были подключены к Всемирной паутине. Однако недавние разработки в области беспроводных сенсорных сетей и «Индустрии 4.0» [11, 23, 25] стимулировали распространение приложений ИВ в таких областях, как промышленный Интернет и *умное производство* [24], *умные города* [27], интеллектуальные энергосети, цифровое сельское хозяйство, электронное здравоохранение и в ряде других [28].

Под *Интернетом вещей* понимается инфраструктура взаимосвязанных систем и информационных ресурсов, а также служб, позволяющая обрабатывать данные

[7] *Ловцов Д.А.* Введение в информационную теорию АСУ : монография. М.: ВА им. Петра Великого, 1996. 436 с.

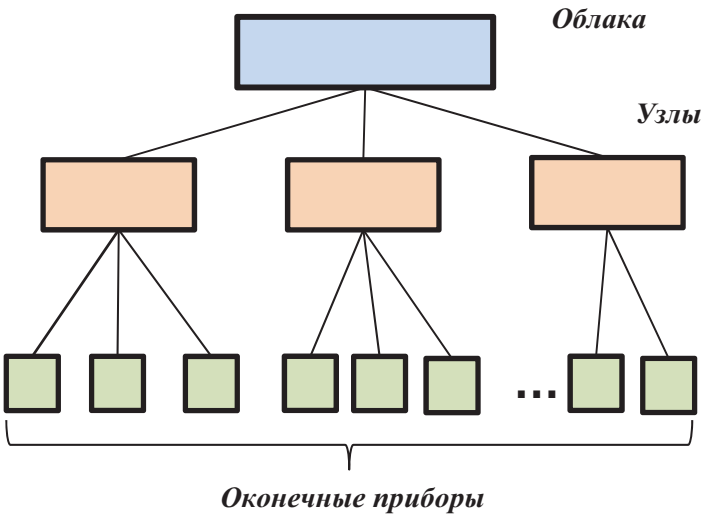

Рис. 1. Структура элементов ТВ

о физическом и виртуальном мире и реагировать на них[8]. То есть ИВ обеспечивает возможность постоянной коммуникации объектов и людей независимо от места и времени, используя любые виды связи и ИКТ.

Основные характеристики ИВ, включая общие требования к информационным объектам, структурные особенности и выполняемые на их основе функции, определены предварительным национальным стандартом ПНСТ 438—20209 и представлены в *табл.* 2.

Следует заметить, что активное распространение ИВ привело к необходимости анализа огромных объемов данных, которые часто невозможно своевременно переработать, даже на основе применения современной интеллектуальной аналитики.

Тенденции в области ИВ способствовали структурным изменениям облачной среды, в которой выделяют три уровня:

1-й уровень — граничных вычислений (ГВ) или *edge computing*, которые еще называют периферийными вычислениями;

2-й уровень — туманных вычислений (ТВ) или *fog computing*;

3-й уровень — облачных вычислений, описанных в п. 1.

ГВ обрабатывают данные на границе сети, например, с датчиков в промышленных приложениях ИВ, когда они подключены к программируемым контроллерам автоматизации при управлении обработкой и коммуникацией, что позволяет мгновенно обрабатывать полученные данные [7].

Туманные вычисления (*fog computing*) — это многоуровневая модель, обеспечивающая повсеместный доступ к общему пулу масштабируемых вычислительных ресурсов[10]. Приложения ТВ уже активно внедряются в управление дорожным движением, в робототехнику, расширяя, при необходимости, ресурсные возможности до масштабов ОВ.

Модель ТВ облегчает развертывание распределенных приложений и служб с учетом приемлемого уровня оперативности решения задачи за счет минимизации времени «запрос — ответ» потребителей для поддерживаемых приложений, обеспечивая конечным устройствам локальные вычислительные ресурсы. Структура модели включает узлы ТВ (физические или виртуальные), расположенные между интеллектуальными конечными устройствами и централизованными (облачными) службами — центрами обработки данных (*рис.* 1). Узлы ТВ являются контекстно-зависимыми и поддерживают общую систему связи и управления данными. Они способны выполнять расчеты без стороннего вмешательства, обеспечивая гибкость вычислений, требуемую емкость по хранению данных, сокращая тем самым обмен с облачными хранилищами данных, повышая отказоустойчивость аппаратной части [3], выполняя одновременно функции сжатия данных [22], а также анализа и преобразования данных.

Туманные и граничные вычисления похожи в том, что располагаются в непосредственной близости к месту обработки данных. Вычисления могут производиться в локальных сетях, хотя сами сервисы децентрализованы. То есть данные можно получить в автономном режиме, поскольку ГВ объединяют не только оборудование и производственные циклы внутри производственной сферы, но и устройства

[8] ПНСТ 518—2021 (ИСО/МЭК 20924:2018) Информационные технологии (ИТ). Интернет вещей (ИВ). Термины и определения. М. : Стандартинформ, 2021.

[9] ПНСТ 438—2020 (ИСО/МЭК 30141:2018) ИТ. ИВ. Типовая архитектура. М. : Стандартинформ, 2020. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200174805 (дата обращения 12.03.2021).

[10] Iorga M., Feldman L., Barton R., et al. Fog Computing Conceptual Model // NIST SP 500-325. 2018. DOI: 10.6028/NIST.SP.500-325 .

Таблица 3

Сопоставление уровней и сущностей в рамках структуры инженерных систем умного города с доменами типовой архитектуры ИВ

Типовая архитектура ИВ	Элементы информационно-коммуникационных структур		
Домен	**Уровень**	**Подуровень**	**Сущности**
Домен операций и управления	Уровень поддержки данных и услуг	Интеграция услуг	Управление услугами Интеграция услуг Пользование услугами
		Интеграция данных	Управление данными
Домен приложений и служб	Уровень умных приложений	Нет	Умное правительство Умный транспорт Умное производство Умное образование Умное здравоохранение Умное обслуживание Умная культура Умный дом
	Уровень вычислений и хранения	Нет	Вычислительные ресурсы Ресурсы хранения Программные ресурсы
Домен доступа к ресурсам и обмену	Уровень поддержки данных и услуг	Источники данных	Фундаментальные данные Обмениваемые данные для совместного использования Данные домена приложения Данные сети Интернет
	Уровень вычислений и хранения	Нет	Вычислительные ресурсы Ресурсы хранения Программные ресурсы
Домен физических сущностей	Уровень умных приложений	Нет	Физические сущности (по области применения) — здравоохранение, транспорт, образование и т. д.
	Уровень поддержки данных и услуг	Получение и агрегация данных	Физические сущности, отслеживаемые для получения данных

(приборы) вне ее, как, например, смартфоны, умные бытовые приборы, автомобили и др. Для этого активно используются возможности таких платформ, как *Google*, *Yandex* и *Mail.ru* [12].

Одной из важных задач при работе с ТВ выступает задача эффективного перераспределения вычислительных ресурсов туманной среды — оркестровка, т. е. координация и управление вычислительными мощностями, осуществляемая в автоматизированном режиме[11].

Покажем место элементов ИВ в структуре задач, решаемых информационными подсистемами *умного города,* концепция которого активно развивается и носит системный характер, открывая новые приложения ИКТ в городской среде, представленные в *табл.* 3[12].

Внедрение «Индустрии 4.0» нацелено на оптимизацию производства на базе новых гибридных бизнес-моделей и использование информационных и инженерных технологий, взаимодействие которых целесообразно осуществлять в едином информационном пространстве (ЕИП) [17]. ЕИП будем представлять в виде виртуальной реальности, в которой взаимодействуют пользователи, работники и организационные подсистемы, связанные процессами производства и применения продукции, а также правовым, информационно-программным, метрологическим и техническим обеспечением информационной инфраструктуры (ИИнф), формируемой под заданные производственные цели.

[11] *Li C., Xue Y., Wang J., et al.* Edge-Oriented Computing Paradigms: A Survey on Architecture Design and System Management // ACM Computing Surveys. 2018. Vol. 51. No. 2. DOI: 10.1145/3154815 .

[12] ПНСТ 447—2020 Информационные технологии. Умный город. Типовая архитектура ИКТ умного города. Ч. 3. Инженерные системы умного города. М. : Стандартинформ, 2020. 16 с.

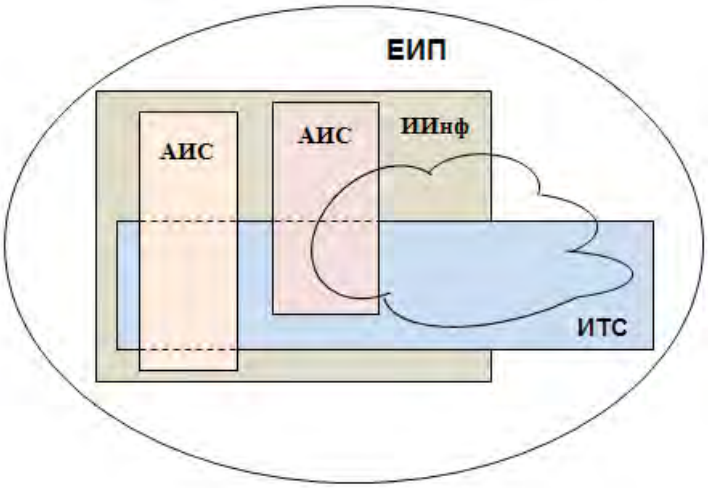

Рис. 2. Условная схема ЕИП

ИИнф обеспечивает доступ к информационным ресурсам и объединяет автоматизированные информационные системы (АИС), банки данных и знаний, коммуникативные сети, обеспечивая как горизонтальные связи, так и вертикальные, например, в масштабе государственных [4, 7, 15]. При этом правовой аспект играет роль *социального регулятора* в ЕИП [10], интегрируя информационное и правовое поле интересов производителей и потребителей данных. На *рис.* 2 показана условная схема ЕИП, включающая рассматриваемые понятия; выделены информационно-технические средства (ИТС), объединяющие АИС в контурах управления «Индустрии 4.0» (например, информационно-справочные, САПР, системы управления технологическими процессами [3], системы поддержки принятия решений [11] и др.), производственные нормативные базы данных, обеспечивающие цифровые форматы взаимодействия для схемы «проект» — «производство», для которой соблюдение требований стандартов ($St_{\text{Т}}$) является центральным фактором задачи контроля и управления качеством (*рис.* 3).

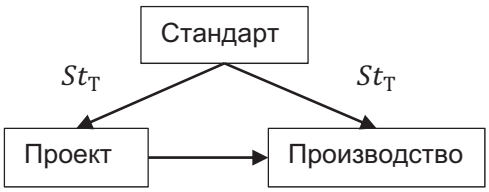

Рис. 3. Требования стандартов контроля и управления качеством

Облачные технологии на рис. 2 объединяют указанные элементы и в настоящий момент применяются на этапах жизненного цикла (ЖЦ) готового изделия. Однако технологии ОВ активно распространяются и на этапы проектирования, производства, ведения регистрации, сертификации и др.

Организационно основу «Индустрии 4.0» составляют смарт-сенсоры, а также киберфизические системы (КФС), интегрирующие способности к вычислениям, связи и хранению данных с мониторингом и/или управлением физическими объектами с требуемой надежностью, безопасностью и в реальном масштабе времени. КФС, реализуя возможности сети Интернет, образуют новый тип распределенных информационных систем, включающих технологии ОВ, смарт-модули (сенсоры, актуаторы, элементы памяти), смарт-устройства (смартфоны, смарт-часы, планшеты), смарт-приборы для дома и/или производства, настраиваемые под заданный круг решаемых задач.

Таким образом, концепция «Индустрии 4.0» реализуется за счет интеграции в ЕИП физических операций и информационно-коммуникационных технологий. Последние обеспечивают сбор, хранение, обработку и анализ, как правило, больших неструктурированных данных для рационального управления ЖЦ изделий за счет применения в производстве систем на основе искусственного интеллекта, обеспечивая разработку новых технологий организации производства.

В основе «Индустрии 4.0» лежат технологии, представленные на рис. 4, в составе:

a) аналитики больших данных на примере концепции 5*V* (высокая скорость обработки данных — *Velocity*, неоднородность источников данных — *Variability*, ценность данных для принятия решений — *Value*, надежность источника данных — *Veracity*, большой объем данных — *Volume*);

b) разработки автономных роботов, включая направления когнитивных и коллаборативных роботов;

c) имитационного моделирования, как на этапе подготовки производства, так и прогнозирования производственных технологий для этапа управления им;

d) системной интеграции, включая вертикальную интеграцию этапов производства, а также горизонтальную интеграцию между смежными предприятиями;

e) промышленного ИВ, включая гибридные интеллектуальные системы управления производством;

f) кибербезопасности;

Рис. 4. Технологии, составляющие основу «Индустрии 4.0»

g) ОВ, позволяющих значительно сократить расходы на внутреннюю инфраструктуру;

h) аддитивных 3*D*-технологий;

i) дополненной реальности, обеспечивая объекты виртуальными свойствами с учетом запросов и требований заказчиков.

Туманные вычисления также часто ошибочно называют граничными вычислениями, поэтому отметим ключевые отличия между ними. ТВ взаимодействуют с облаком, тогда как ГВ исключены из облачной инфраструктуры. Структура ТВ, как правило, иерархическая, с возможностью подключениям к хранилищам данных ОВ. ГВ обеспечивают регистрацию и первичную обработку заданного количества периферийных слоев датчиков-поставщиков данных.

3. Постановка задачи концептуального построения распределенной вычислительной среды

Топологию распределенной вычислительной сети будем рассматривать с учетом специфики использования ресурсов для граничных (уровень У-1), туманных (уровень У-2) и облачных (уровень У-3) вычислений, соответственно.

Для наглядности выберем уровень У-2 — туманных вычислений, структуру которого представим неориентированным графом [20, 28]

$$G=(N,E), \quad (1)$$

где N — множество узлов графа, а E — множество связей между ними.

Число узлов графа G определяется количеством узлов ТВ из множества F и количеством пользователей из множества C, т. е. $N = C \cup F$ (*рис.* 5).

Пользователи c_i, $i = \overline{1,n}$ являются для системы на уровне У-2 как источниками, так и потребителями данных (по запросу, включая запросы, например, к уровню ОВ для пользователя c_3). Одновременно для уровня У-2 пользователи могут выступать источниками данных, полученных от КФС с уровня У-1, для окончательной их переработки, используя более мощные вычислительные возможности уровня У-2.

Каждый узел ТВ $f_j, j = \overline{1,m}, f_j \in F$ имеет доступ к сетевым ресурсам N_R, вычислительным C_R и ресурсам памяти S_R (номера ресурсов соответствуют номеру узла и на *рис.* 5 не показаны).

Пользователи c_i могут запросить любое приложение (см. *табл.* 1) из ОВ множества Ap (на *рис.* 5 это узлы и f_1 и f_3). Получаемые результаты загружаются в память S_R, общую для уровня У-2, или в заданную область памяти пользователя — $S_R^{(c)}$. Обработка данных может выполняться в любом узле f_l ТВ. Для приложений ТВ, чувствительным к задержкам обработки данных, могут быть выбраны узлы из сетевого окружения, которые для этих целей должны обладать дополнительными вычислительными возможностями и не загружены на заданный момент времени другими работами.

Связь между узлами графа (1) будем задавать индикаторной переменной:

$$a_{cf} = \begin{cases} 1, \text{если связь между } c \text{ и } f \text{ есть;} \\ 0 \text{ — в противном случае,} \end{cases} \quad (2)$$

которая соответствует доступности для потребителя c_i узла f_j, т. е. для узла f_5 при занятости узла f_6 можно выбрать узел f_1 или f_4.

Каждый потребитель может быть связан только с одним узлом из множества $\boldsymbol{F}$, т. е.

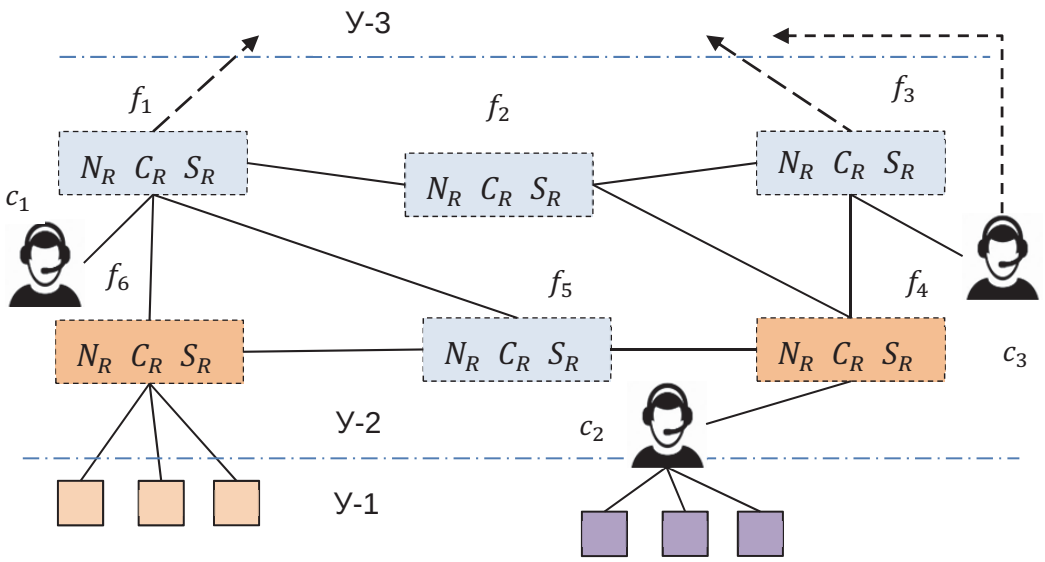

Рис. 5. Граф взаимодействия узлов уровня туманных вычислений

$$\sum_{f \in F} \alpha_{cf} = 1 \text{ , для } \forall c \in C \tag{3}$$

Данные, загружаемые в любой узел $f_j \in F$, фактически могут быть обработаны приложением $\alpha \in Ap$ в узле f_l, причем $j, l = \overline{1, m}$ и $j \neq l$. Это фиксируется индикатором $\beta_{jl}^{\alpha} = 1$, хотя в общем случае $\beta_{jl}^{\alpha} = \{0, 1\}$. Если узлы f_j и f_l в составе своих вычислительных ресурсов имеют хотя бы одно одинаковое приложение α, то справедливо условие [20] вида:

$$\beta_{jl}^{\alpha} \leq \sum_{c \in C} \alpha_{cf}, \text{ для } \forall \alpha \in Ap \text{ и } f_j, f_l \in F. \tag{4}$$

Для обеспечения *структурной целостности* распределенной переработки информации на рассматриваемом уровне У-2 ТВ актуально требование полной обработки в узле $f \in F$ с помощью приложения $\alpha \in Ap$ загруженных данных в отведенное по запросу время, для чего необходимо выполнение следующего условия:

$$\sum_{c \in C} v_c^{\alpha} a_{cf} = \sum_{f_l \in F} \theta_{jl}^{\alpha}, \tag{5}$$

где v_c^{α} — среднее время/скорость выполнения приложения по запросу от потребителя , которое можно легко масштабировать под любой интересующий исследователя параметр (пропускную способность, скорость передачи данных и др.); θ_{jl}^{α} — аналогичный усредненный параметр, учитывающий возможные временны́е потери при замене узла f_j узлом f_l при загруженности/занятости узла $f_j \in F$. При этом общие потребности ресурсов памяти S_R^{α}, занимаемые приложением $\alpha \in Ap$, в любом узле ограничены мощностью множества $|Ap|$, что также является причиной перехода обслуживания от узла f_j к узлу f_l, для которого

$$\sum_{\alpha \in Ap} \beta_l^{\alpha} S_R^{\alpha} \leq S_R^{(l)}, \tag{6}$$

где $S_R^{(l)}$ — ресурсы памяти узла f_l.

С учетом временны́х задержек на выполнение приложения по запросу от потребителя в соответствии с выражениями (2), (4) и (6) определяется общее время или стоимость обслуживания, на основании которых оценивают качество обслуживания запросов.

Таким образом, в зависимости от количества запросов на обслуживание и требуемых приложений (сервисов) осуществляется контроль и перераспределение вычислительных мощностей туманных вычислений, обладающих бо́льшей динамикой относительно ОВ. Описанный подход позволяет оперативно перераспределять ресурсы в условиях больших данных и устойчивого роста числа источников данных на уровне ГВ, в том числе и за счет активного внедрения промышленных КФС.

Заключение

Решение проблемы цифровой трансформации требует ускоренного «цифрового мышления», использования междисциплинарных знаний при разработке новых методов анализа данных для оперативного реагирования при управлении вычислительными облачными ресурсами в условиях роста числа пользовательских запросов на обслуживание, расширения парка Интернета вещей и, как следствия, роста объемов данных, основываясь на комплексном методическом системном подходе в исследовании современных информационных структур.

Это позволит на практике обеспечить потребителю эластичность и масштабируемость виртуальных ресурсов, при которых они могут быть быстро и гибко адаптированы под решаемые целевые задачи.

Литература

1. Беззатеев С. В., Елина Т. Н., Мыльников В. А. Моделирование процессов подбора параметров облачных систем для обеспечения их устойчивости с учетом надежности и безопасности // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 4. С. 654—662. DOI: 10.17586/2226-1494-2018-18-4-654-662.
2. Бульба С. С., Кучук Г. А., Лисица Д. А. Создание композитных приложений на основе распределённых сервисов // Системи обробки інформації. 2016. № 1(138). С. 144—147.
3. Бурый А.С. Отказоустойчивые распределенные системы переработки информации. М. : Горячая линия. Телеком, 2016. 128 с. ISBN: 978-5-9912-0608-2.
4. Бурый А. С. Совершенствование государственных информационных систем как тренд цифрового общества // Правовая информатика. 2020. № 3. С. 19—28. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-3-19-28 .
5. Бурый А. С. Тенденции развития распределенных информационных систем на основе облачных технологий // Транспортное дело России. 2013. № 6. С. 160—162.
6. Бурый А. С., Саков А. А., Слепынцева Л. И. Разработка и актуализация нормативных документов и стандартов при управлении облачными сервисами // Транспортное дело России. 2015. № 6. С. 79—81.
7. Воробьев С. П. Математическая модель оптимизации сетевой инфраструктуры распределенной корпоративной системы на базе облачных, туманных и граничных технологий // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7. № 3. С. 4. DOI: 10.26102/2310-6018/2019.26.3.003 .
8. Гаврилов Д. А. Программно-алгоритмический комплекс оценки эффективности автоматизированной оптико-электронной системы // Правовая информатика. 2020. № 3. С. 29—39. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-3-29-39 .
9. Государство и право в новой цифровой реальности : монография / Под общ. ред. И. А. Умновой-Конюховой, Д. А. Ловцова. М. : ИНИОН РАН, 2020. 259 с. ISBN 978-5-248-00959-6.
10. Дмитрик Н. А. Цифровая трансформация: правовое измерение // Правоведение. 2019. Т. 63. № 1. С. 28—46. DOI: 10.21638/spbu 25.2019.102 .
11. Иванов Д. А., Иванова М. А., Соколов Б. В. Анализ тенденций изменения принципов управления предприятиями в условиях развития технологий Индустрии 4.0 // Труды СПИИРАН. 2018. № 5(60). С. 97—127. DOI: 10.15622/sp.60.4 .
12. Кирсанова А. А., Радченко Г. И., Черных А. Н. Обзор технологий организации туманных вычислений // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2020. Т. 9. № 3. С. 35—63. DOI: 10.14529/cmse200303 .
13. Ловцов Д. А. Информационная теория эргасистем. М. : РГУП, 2021. 314 с. ISBN 978-5-93916-887-8.
14. Ловцов Д. А. Системология правового регулирования информационных отношений в инфосфере : монография. М. : РГУП, 2016. 316 с.
15. Ловцов Д. А. Архитектура базы данных и знаний подсистемы планирования и координации информационных процессов в иерархической эргасистеме // Правовая информатика. 2020. № 4. С. 4—19. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-4-04-19 .
16. Ловцов Д. А. Теоретические основы системной информатизации правового регулирования // Правовая информатика. 2019. № 4. С. 12—28. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-4-12-28 .
17. Ловцов Д. А. Эффективность правовых эргасистем в инфосфере // Правовая информатика. 2020. № 1. С. 4—14. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-1-04-14 .
18. Ловцов Д. А., Богданова М. В., Паршинцева Л. С. Пакеты прикладных программ для многоаспектного анализа судебной статистической информации // Правовая информатика. 2017. № 1. С. 28—36. DOI: 10.21681/1994-1404-2017-1-28-36 .
19. Файзуллин Р. В., Херинг Ш., Василенко К. А. Модели оценки эффективности облачных технологий и туманных вычислений // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2020. 8(1). DOI: 10.26102/2310-6018/2020.28.1.025 .
20. Arkian H. R., Diyanat A., Pourkhalili A. MIST: Fog-based data analytics scheme with cost-efficient resource provisioning for IoT crowdsensing applications // Journal of Network and Computer Applications. 2017. No. 82. P. 152-165. DOI: 10.1016/j.jnca..01.012 .
21. Arsovski S., Arsovski Z., Stefanović M., Tadić D., Aleksić A. Organisational resilience in a cloud-based enterprise in a supply chain: a challenge for innovative SMEs // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2017. Vol. 30. No. 4-5. P. 409-419. DOI: 10.1080/0951192X.2015.1066860 .
22. Buryi A. S., Loban A. V., Lovtsov D. A. Compression models for arrays of measurement data in an automatic control systems // Automation and Remote Control. 1998. Vol. 59. No. 5. Part 1. P. 613-631.
23. Götz M., Jankowska B. Adoption of Industry 4.0 technologies and company competitiveness: case studies from a post-transition economy // Foresight and STI Governance. 2020. Vol. 14. No. 4. P. 61-78. DOI: 10.17323/2500-2597.2020.4.61.78 .

24. Hosseinian-Far A., Ramachandran M., Slack C. L. Emerging trends in cloud computing, big data, fog computing, IoT and smart living. In: M. Dastbaz, H. Arabnian, B. Akhgar (eds) Technology for Smart Futures. Springer, 2017. P. 29-40. DOI: 10.1007/978-3-319-60137-3_2 .
25. Lee J., Bagheri B., Kao H.A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems // Manufacturing letters. 2015. No. 3. P. 18-23. DOI: 10.1016/j.mfglet.2014.12.001 .
26. Swain B.R., Sahoo J.J., Prasad A., Selvam D.T. Rise of fluid computing: a collective effort of mist, fog and cloud // International Journal of Computer Sciences and Engineering. 2019. Vol. 7. No. 4. P. 62-69. DOI: 10.26438/ijcse/v7i4.6269 .
27. Xu Z., Zhang Y., Li H., et al. Dynamic resource provisioning for cyber-physical systems in cloud-fog-edge computing // Journal of Cloud Computing. 2020. No. 9(32). DOI: 10.1186/s13677-020-00181-y .
28. Zhou Y., Zhang D., Xiong N. Post-cloud computing paradigms: A survey and comparison // Tsinghua Science and Technology. 2017. T. 22. No. 6. P. 714-732. DOI: 10.23919/TST.2017.8195353 .

*Рецензент: **Алексеев Владимир Витальевич,** доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАЕН, почетный радист РФ, заведующий кафедрой информационных систем и защиты информации Тамбовского государственного технического университета, Российская Федерация, г. Тамбов.*
E-mail: vvalex1961@mail.ru

CLOUD COMPUTING IN THE DIGITAL TRANSFORMATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES

***Aleksei Buryi,** Dr.Sc. (Technology), expert at the Russian Academy of Sciences, Department Director at the Russian Science-cum-Technical Centre for Information on Standardisation, Metrology, and Conformity Assessment, Moscow, Russian Federation.*
E-mail: a.s.burij@gostinfo.ru

***Keywords:** digital transformation, cloud computing, fog computing, single information space, infosphere, Industry 4.0 strategy, cyber-physical systems.*

Abstract.

Purpose of the work: improving the scientific and methodological base of information and communication technologies for forming a single cloud computing information space in the concept of modern information systems in the course of digital transformation of the information sphere of the society.

Method used: multifaceted use of system and comparative analysis applying statistical conclusions and techniques for formal logical construction of distributed information systems based on cloud computing.

Results obtained: based on the analysis of factors of cloud computing infrastructure development as well as the role of the Internet of Things technologies under the conditions of digital transformation of information and communication technologies in the socio-economic sphere, a conceptual approach to assessing the structural capabilities of a distributed cloud infrastructure formed in a single information space using the example of organising fog computing is put forward.

The resulting approach can be used for assessing both the existing and prospective digital environment.

References

1. Bezzateev S. V., Elina T. N., Myl'nikov V. A. Modelirovanie protsessov podbora parametrov oblachnykh sistem dlia obespecheniia ikh ustoichivosti s uchetom nadezhnosti i bezopasnosti. Nauchno-tekhnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki, 2018, t. 18, No. 4, pp. 654-662. DOI: 10.17586/2226-1494-2018-18-4-654-662.
2. Bul'ba S. S., Kuchuk G. A., Lisitsa D. A. Sozdanie kompozitnykh prilozhenii na osnove raspredelennykh servisov. Sistemi obrobki informatsiï, 2016, No. 1(138), pp. 144-147.
3. Buryi A. S. Otkazoustoichivye raspredelennye sistemy pererabotki informatsii. M. : Goriachaia liniia -- Telekom, 2016, 128 pp. ISBN: 978-5-9912-0608-2.
4. Buryi A. S. Sovershenstvovanie gosudarstvennykh informatsionnykh sistem kak trend tsifrovogo obshchestva. Pravovaia informatika, 2020, No. 3, pp. 19-28. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-3-19-28 .
5. Buryi A. S. Tendentsii razvitiia raspredelennykh informatsionnykh sistem na osnove oblachnykh tekhnologii. Transportnoe delo Rossii, 2013, No. 6, pp. 160-162.

6. Buryi A. S., Sakov A. A., Slepyntseva L. I. Razrabotka i aktualizatsiia normativnykh dokumentov i standartov pri upravlenii oblachnymi servisami. Transportnoe delo Rossii, 2015, No. 6, pp. 79-81.
7. Vorob'ev S. P. Matematicheskaia model' optimizatsii setevoi infrastruktury raspredelennoi korporativnoi sistemy na baze oblachnykh, tumannykh i granichnykh tekhnologii. Modelirovanie, optimizatsiia i informatsionnye tekhnologii, 2019, t. 7, No. 3, pp. 4. DOI: 10.26102/2310-6018/2019.26.3.003 .
8. Gavrilov D. A. Programmno-algoritmicheskii kompleks otsenki effektivnosti avtomatizirovannoi optiko-elektronnoi sistemy. Pravovaia informatika, 2020, No. 3, pp. 29-39. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-3-29-39 .
9. Gosudarstvo i pravo v novoi tsifrovoi real'nosti : monografiia. Pod obshch. red. I. A. Umnovoi-Koniukhovoi, D. A. Lovtsova. M. : INION RAN, 2020, 259 pp. ISBN 978-5-248-00959-6.
10. Dmitrik N. A. Tsifrovaia transformatsiia: pravovoe izmerenie. Pravovedenie, 2019, t. 63, No. 1, pp. 28-46. DOI: 10.21638/spbu 25.2019.102 .
11. Ivanov D. A., Ivanova M. A., Sokolov B. V. Analiz tendentsii izmeneniia printsipov upravleniia predpriiatiiami v usloviiakh razvitiia tekhnologii Industrii 4.0. Trudy SPIIRAN, 2018, No. 5(60), pp. 97-127. DOI: 10.15622/sp.60.4 .
12. Kirsanova A. A., Radchenko G. I., Chernykh A. N. Obzor tekhnologii organizatsii tumannykh vychislenii. Vestnik IuUrGU, seriia: Vychislitel'naia matematika i informatika, 2020, t. 9, No. 3, pp. 35-63. DOI: 10.14529/ cmse200303 .
13. Lovtsov D. A. Informatsionnaia teoriia ergasistem. M. : RGUP, 2021, 314 pp. ISBN 978-5-93916-887-8.
14. Lovtsov D. A. Sistemologiia pravovogo regulirovaniia informatsionnykh otnoshenii v infosfere : monografiia. M. : RGUP, 2016, 316 pp.
15. Lovtsov D. A. Arkhitektura bazy dannykh i znanii podsistemy planirovaniia i koordinatsii informatsionnykh protsessov v ierarkhicheskoi ergasisteme. Pravovaia informatika, 2020, No. 4, pp. 4-19. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-4-04-19 .
16. Lovtsov D. A. Teoreticheskie osnovy sistemnoi informatizatsii pravovogo regulirovaniia. Pravovaia informatika, 2019, No. 4, pp. 12-28. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-4-12-28 .
17. Lovtsov D. A. Effektivnost' pravovykh ergasistem v infosfere. Pravovaia informatika, 2020, No. 1, pp. 4-14. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-1-04-14 .
18. Lovtsov D. A., Bogdanova M. V., Parshintseva L. S. Pakety prikladnykh programm dlia mnogoaspektnogo analiza sudebnoi statisticheskoi informatsii. Pravovaia informatika, 2017, No. 1, pp. 28-36. DOI: 10.21681/1994-1404-2017-1-28-36 .
19. Faizullin R. V., Khering Sh., Vasilenko K. A. Modeli otsenki effektivnosti oblachnykh tekhnologii i tumannykh vychislenii. Modelirovanie, optimizatsiia i informatsionnye tekhnologii, 2020, 8(1). DOI: 10.26102/2310-6018/2020.28.1.025 .
20. Arkian H. R., Diyanat A., Pourkhalili A. MIST: Fog-based data analytics scheme with cost-efficient resource provisioning for IoT crowdsensing applications. Journal of Network and Computer Applications, 2017, No. 82, pp. 152-165. DOI: 10.1016/j.jnca..01.012 .
21. Arsovski S., Arsovski Z., Stefanović M., Tadić D., Aleksić A. Organisational resilience in a cloud-based enterprise in a supply chain: a challenge for innovative SMEs. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2017, vol. 30, No. 4-5, pp. 409-419. DOI: 10.1080/0951192X.2015.1066860 .
22. Buryi A. S., Loban A. V., Lovtsov D. A. Compression models for arrays of measurement data in an automatic control systems. Automation and Remote Control. 1998, vol. 59, No. 5, Part 1, pp. 613-631.
23. Götz M., Jankowska B. Adoption of Industry 4.0 technologies and company competitiveness: case studies from a post-transition economy. Foresight and STI Governance, 2020, vol. 14, No. 4, pp. 61-78. DOI: 10.17323/2500-2597.2020.4.61.78 .
24. Hosseinian-Far A., Ramachandran M., Slack C. L. Emerging trends in cloud computing, big data, fog computing, IoT and smart living. In: M. Dastbaz, H. Arabnian, B. Akhgar (eds) Technology for Smart Futures. Springer, 2017, pp. 29-40. DOI: 10.1007/978-3-319-60137-3_2 .
25. Lee J., Bagheri B., Kao H.A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing letters, 2015, No. 3, pp. 18-23. DOI: 10.1016/j.mfglet.2014.12.001 .
26. Swain B.R., Sahoo J.J., Prasad A., Selvam D.T. Rise of fluid computing: a collective effort of mist, fog and cloud. International Journal of Computer Sciences and Engineering, 2019, vol. 7, No. 4, pp. 62-69. DOI: 10.26438/ijcse/v7i4.6269 .
27. Xu Z., Zhang Y., Li H., et al. Dynamic resource provisioning for cyber-physical systems in cloud-fog-edge computing. Journal of Cloud Computing, 2020, No. 9(32). DOI: 10.1186/s13677-020-00181-y .
28. Zhou Y., Zhang D., Xiong N. Post-cloud computing paradigms: A survey and comparison. Tsinghua Science and Technology, 2017. T. 22, No. 6, pp. 714-732. DOI: 10.23919/TST.2017.8195353 .