

# СЦЕНАРИИ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ концепции туманных вычислений

А.Пинчук, директор ООО "НТЦ ПРОТЕЙ",  
Н.Соколов, д.т.н., директор по науке ООО "ПРОТЕЙ СпецТехника",  
В.Фрейнкман, директор по маркетингу и системным исследованиям ООО "НТЦ ПРОТЕЙ"

УДК 621.391, DOI: 10.22184/2070-8963.2018.73.4.24.30

Анализируются основные сценарии создания и развития телекоммуникационной системы, поддерживающей функциональные возможности туманных вычислений. Рассматриваются примеры технических средств, используемых для туманных вычислений. Обсуждаются аспекты совместного функционирования систем туманных и облачных вычислений. Приводятся прогностические оценки, касающиеся реализации концепции "Туманные вычисления".

## СТРУКТУРЫ ФРАГМЕНТОВ СЕТИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

При проведении туманных вычислений могут использоваться фрагменты сети с разной структурой. Для практической реализации достаточно исследовать пять вариантов доступа к вычислительным ресурсам, которые представлены на рис.1. Рассматриваемые топологии служат моделями на участке "Терминальное оборудование пользователей – Средства для выполнения туманных вычислений".

Вариант А иллюстрирует прямую связь терминала с устройством, которое обеспечивает операции туманных вычислений. Вариант Б показывает тот случай, когда терминалы включаются в некий концентратор (его функции может выполнять смартфон или специализированный аппаратно-программный модуль), который связан с устройством, выполняющим туманные вычисления. Вариант В представляет решение, подразумевающее резервирование прямых связей с вычислительными ресурсами. Варианты Г и Д отличаются тем, что в первом случае используется одно, а во втором – два устройства концентрации для резервирования связи с устройствами, выполняющими функции туманных вычислений.

На рис.2 приведены примеры терминального оборудования различного рода, а также аппаратно-программных средств, которые могут использоваться в пространствах туманных и облачных вычислений. Эта иллюстрация, как и ряд последующих, основана на материалах Консорциума OpenFog [1]. Терминальное оборудование, как правило, располагается в пространстве вычислений на уровне "росы", который был обозначен в нашей предыдущей статье [2]. Беспроводная связь между автомобилем и смартфоном иллюстрирует тот факт, что терминал мобильной связи способен выполнять функции концентратора для агрегации нагрузки.

Пространство туманных вычислений включает совокупность вычислительных средств, представленных различными видами оборудования. Они могут рассматриваться как некие узлы туманных вычислений (УТВ). Эти узлы уместно классифицировать по производительности, специализации на задачах определенного вида и принадлежности. В последнем случае логично выделить УТВ общего пользования, оказывающие услуги всем потенциальным клиентам и корпоративного (в том числе – ведомственного) назначения, ориентированные на заранее известную

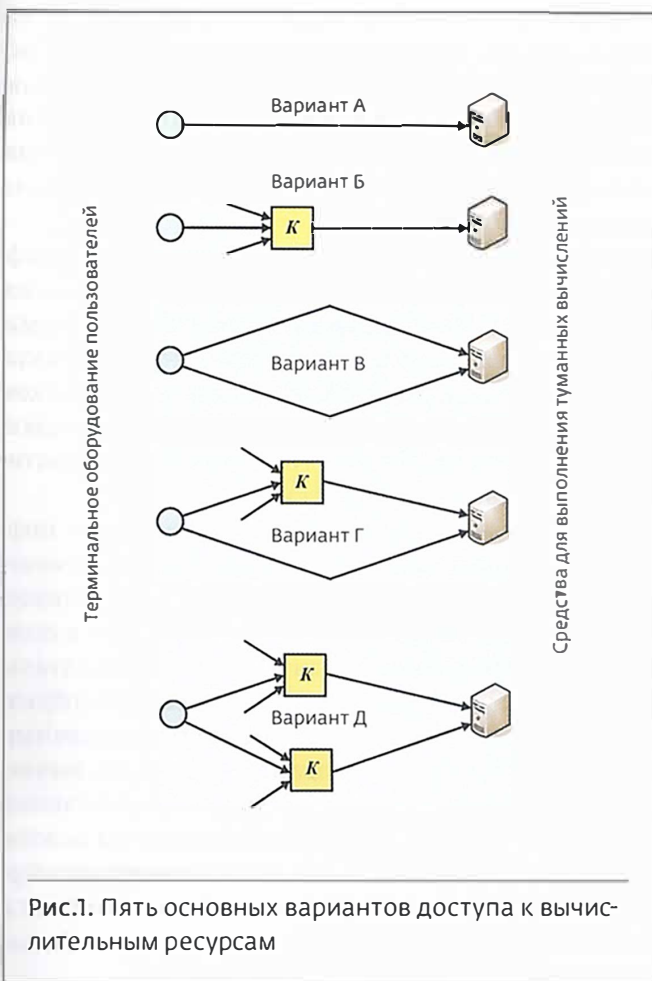


Рис.1. Пять основных вариантов доступа к вычислительным ресурсам

группу потребителей. Операторы связи владельцам УТВ корпоративного назначения оказывают услуги вида "Collocation" – размещение оборудования на своих площадках или размещение программного обеспечения клиента на вычислительных мощностях оператора связи.

Модели, приведенные на рис.1 и 2, показывают, что структуры сети, используемые для реализации туманных вычислений, основаны преимущественно на двух топологиях: "звезда" и "дерево". Организация альтернативных маршрутов для повышения надежности процессов обмена информацией достигается комбинированием этих топологий. Не исключено, что в перспективе будут востребованы структуры сети, основанные на топологиях других видов ("шина", "кольцо" и т.п.).

### ВЗАИМОСВЯЗЬ ТУМАННЫХ И ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Туманные и облачные вычисления разумно рассматривать как взаимодополняющие системные решения, направленные на оптимизацию процессов построения, эксплуатации и дальнейшего развития инфокоммуникационных систем различного назначения. Это не исключает, в ряде частных случаев, использование системно-сетевых решений, при выборе которых туманные и облачные вычисления рассматриваются как конкурирующие альтернативы. На рис.3 приведены примеры



Рис.2. Примеры технических средств, используемых для туманных вычислений



Рис.3. Совместное применение туманных и облачных вычислений

совместного применения туманных и облачных вычислений на пяти уровнях, выделенных с точки зрения основных бизнес-процессов, а также терминального оборудования Интернета вещей и пользователей соответствующей информации. Количество корпоративных систем, получающих данные от "вещей", определяется в результате технико-экономического анализа, который направлен на минимизацию необходимых инвестиций и максимизацию полезного эффекта от обработки доступной информации.

Вертикальный фрагмент, обозначенный снизу цифрой "1", иллюстрирует иерархию туманных вычислений, которая не зависит от облака. Эта модель может применяться для случаев, когда использование облака не представляется целесообразным по каким-либо причинам (ограниченное время доставки информации, высокие требования к безопасности и конфиденциальности, недоступность облака в границах конкретной местности, где поддерживаются услуги). Характерными приложениями подобного решения могут служить боевые системы Вооруженных Сил, беспилотные летательные аппараты, некоторые системы здравоохранения.

Вертикальный фрагмент, обозначенный цифрой "2", содержит одно облако, которое используется только для обработки информации. Обычно эта информация связана с принятием решений, на выработку которых требуется сравнительно большой промежуток времени – от часа до нескольких месяцев. Оперативная обработка

информации выполняется за счет туманных вычислений, технические средства которых расположены близко к объекту или процессу управления. К типичным примерам такого решения относятся управление зданием с точки зрения доходов и расходов, коммерческий мониторинг солнечных панелей.

Вертикальный фрагмент, обозначенный цифрой "3", иллюстрирует сферу применения туманных вычислений для оперативной обработки информации. Примеры использования подобного варианта включают коммерческий мониторинг источников бесперебойного питания, ускорение сети доставки контента (Content Delivery Network – CDN) для оптимизации работы Интернета.

Вертикальный фрагмент, обозначенный цифрой "4", служит удачной моделью для применения в таких областях, как сельскохозяйственное производство; автомобили, подключенные к сети Интернет при помощи различных интеллектуальных систем; удаленные метеостанции. В подобных случаях используются исключительно облачные решения, так как организация туманных вычислений становится либо невозможной, либо экономически не выгодной. Правда, допускается использование УТВ в непосредственной близости от терминала для некоторых функций мониторинга и управления, связанных, в основном, с обеспечением безопасности.

Долевое использование различных видов вычислений на втором, третьем и четвертом иерархических уровнях показано условно. Решение задач по применению различных видов вычислений выполняется на этапе разработки проектных решений с учетом прогнозов в части применения технологий Big Data [3] и Data Mining [4]. Например, в каких-то случаях для приема и агрегации первичной информации от "вещей" достаточно вычислительных ресурсов ближайшего УТВ (к примеру, точки доступа Wi-Fi, на которой будут запущены простейшие скрипты), тогда как для другой задачи всю получаемую информацию необходимо поднимать на уровень облака для обработки и анализа. В качестве практического примера можно привести организацию работы системы видеонаблюдения для поиска автотранспорта и учета его перемещения. При наличии соответствующих вычислительных ресурсов на уровне УТВ на уровне облака можно передавать только детектированные номера машин или триггеры по определенным событиям, а не весь видеопоток. На результаты решения задач подобного рода в будущем повлияет практическая реализация идей

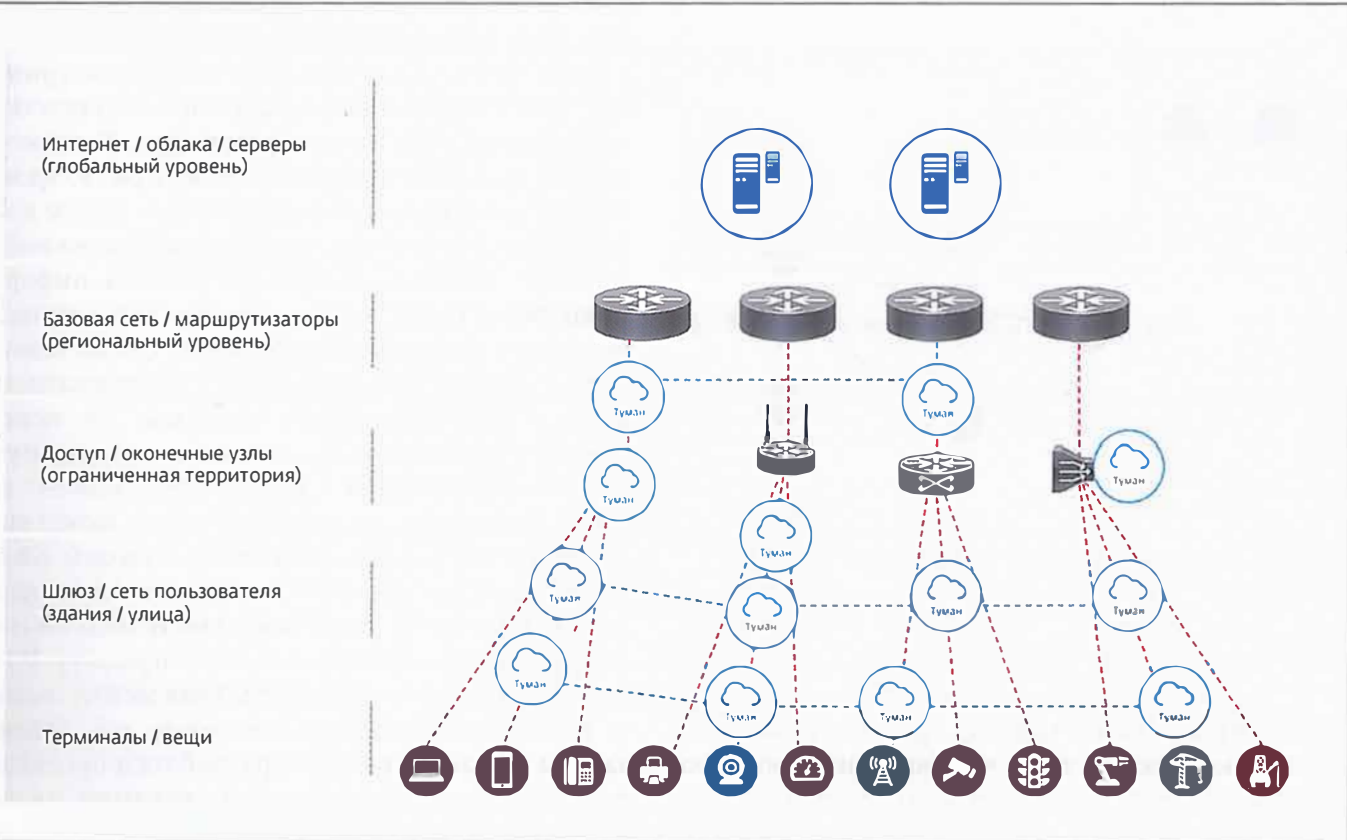


Рис.4. Иерархическая структура туманных и облачных вычислений

по вычислениям на уровне "росы" – концепции Dew Computing [5], которую следует считать предметом отдельного исследования.

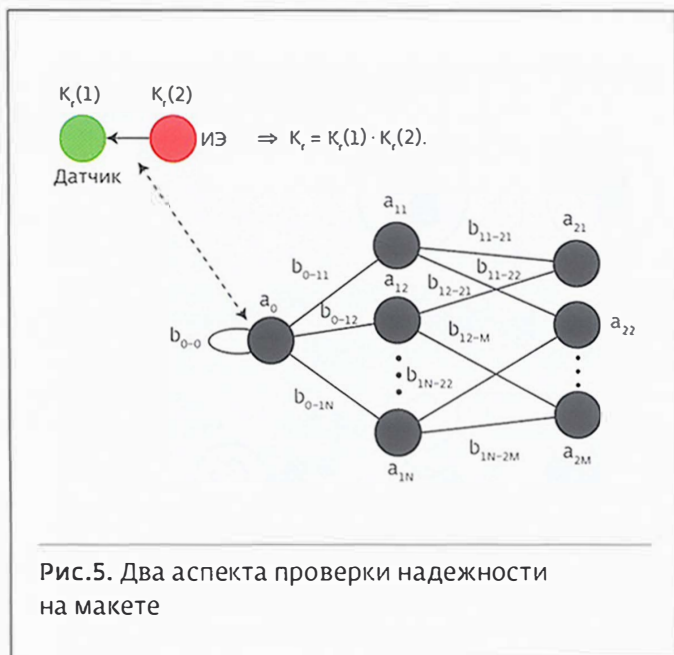
Совместное применение туманных и облачных вычислений, пример которого показан на рис.3, не меняет иерархических отношений рассматриваемых концепций. Иерархическая структура туманных и облачных вычислений изображена на рис.4 в виде пяти уровней. В предложенной модели аппаратно-программные средства, задействованные для туманных вычислений, располагаются на втором и третьем уровнях. Облачные вычисления осуществляются на пятом уровне рассматриваемой модели.

Существенная особенность туманных вычислений заключается в инвариантности их реализации от протоколов и технологий, применяемых для обработки информации. С другой стороны, следует учитывать приведенные выше прогностические оценки, касающиеся транспортных ресурсов, значительный рост которых будет обусловлен применением технологий Big Data, Data Mining и им подобных.

**ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ**

Туманные вычисления в значительной мере предназначены для обработки трафика Интернета вещей, а доступ к ресурсам осуществляется преимущественно за счет применения беспроводных технологий [6]. Параметры этого трафика заметно отличаются от характеристик той нагрузки, которая не связана с вещами. Специфические параметры трафика Интернета вещей требуют разработки ряда решений по обеспечению показателей качества обслуживания (QoS), перечисленных в [2].

При практической реализации технологии туманных вычислений особое внимание следует уделить принципам обеспечения надежности. В международных публикациях, например в [1, 7], а также в ряде других, акцентируется внимание на том, что коэффициент готовности на уровне 0,99999 (правило "Пяти девяток") становится все более востребованным для тех приложений, где надежность информационного обмена определяет ценность (в широком смысле этого понятия) бизнес-процессов. Для расчета надежности



"вещей" продуктивен подход, предложенный в [8]. Он заключается в том, что источник электроэнергии (ИЭ) рассматривается как компонент, соединенный - с точки зрения теории надежности [9] - последовательно с аппаратно-программными средствами, которые входят в состав "вещи". Тогда модель "вещи" (далее в верхней части рис. 5 и последующем за ним тексте она рассматривается как датчик) состоит из двух компонентов с разными величинами коэффициента готовности -  $K_r(1)$  и  $K_r(2)$ . Результирующее значение коэффициента готовности  $K_r$  определяется произведением  $K_r(1)$  и  $K_r(2)$ .

В тех случаях, когда ИЭ становится "слабым звеном", датчик переходит в неработоспособное состояние даже при исправности аппаратно-программных средств. По этой причине необходимо обратить внимание на надежность ИЭ.

В нижней части рис.5 приведена математическая модель, позволяющая оценить характеристики надежности туманных вычислений. Модель представляет собой граф, в котором: вершина  $a_0$  - модель "вещи"; вершины  $a_{1i}$  - модели УТВ ( $i = 1, 2, \dots, N$ ); вершины  $a_{2j}$  - модели вычислительных средств в облаке ( $j = 1, 2, \dots, M$ ); ребро  $b_{0-0}$  - модель тракта обмена информацией внутри "вещи"; ребро  $b_{0-1i}$  - модель тракта обмена информацией между "вещью" и УТВ; ребро  $b_{1i-2j}$  - модель тракта обмена информацией между УТВ и вычислительными системами в облаке. Использование ребра  $b_{0-0}$  следует рассматривать как невозможность или нецелесообразность обмена информацией с УТВ. В подобных случаях "вещь" выполняет

функции ЛПР - лица, принимающего решение [10]. При реализации технологии вычислений в "росе" ребро  $b_{0-0}$  будет уместно рассматривать как тракт обмена информацией с соответствующими вычислительными ресурсами. Количество УТВ (от 1 до  $N$ ), с которыми может быть связана конкретная "вещь", определяется ее типом и требованиями к надежности процесса обмена информацией. Количество трактов обмена информацией (ребер графа) между каждым УТВ и вычислительными средствами в облаке (от 1 до  $M$ ) зависит от требований по надежности к этому фрагменту телекоммуникационной системы, от используемых технологий и состояния телекоммуникационной системы в конкретный момент времени. Например, доступность услуги может определяться количеством базовых станций NB-IoT, доступных для данной "вещи" в данное время и в данном месте, возможностью использования альтернативных каналов связи (к примеру, Wi-Fi) для организации взаимодействия между "вещью" и телекоммуникационной сетью т.д. Данная задача решается на этапе разработки проектной документации. В идеальной ситуации численность таких трактов (ребер графа) должна быть не менее двух для каждого УТВ, однако на практике все будет определяться решаемой задачей, поскольку, например, поддержка резервных технологий беспроводной связи в "вещах" определенного типа (датчиках, сенсорах) может привести к излишнему удорожанию таких устройств и/или росту энергопотребления, что может оказаться неприемлемым с технологической и экономической точек зрения.

## ПОДДЕРЖКА ЗАДАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА УСЛУГ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Для поддержки заданных показателей качества услуг при использовании туманных вычислений следует использовать различные механизмы. Они выбираются на этапе проектирования и в процессе технической эксплуатации. Кроме того, важным аспектом обеспечения качества услуг следует считать применение специальных процедур в условиях чрезвычайных ситуаций [11], когда оперативное получение информации помогает в ликвидации их последствий.

На этапе проектирования необходимо оценить параметры трафика с учетом динамики его развития, по которым - на базе норм на показатели QoS - рассчитывается объем необходимых транспортно-ресурсов, а также производительности

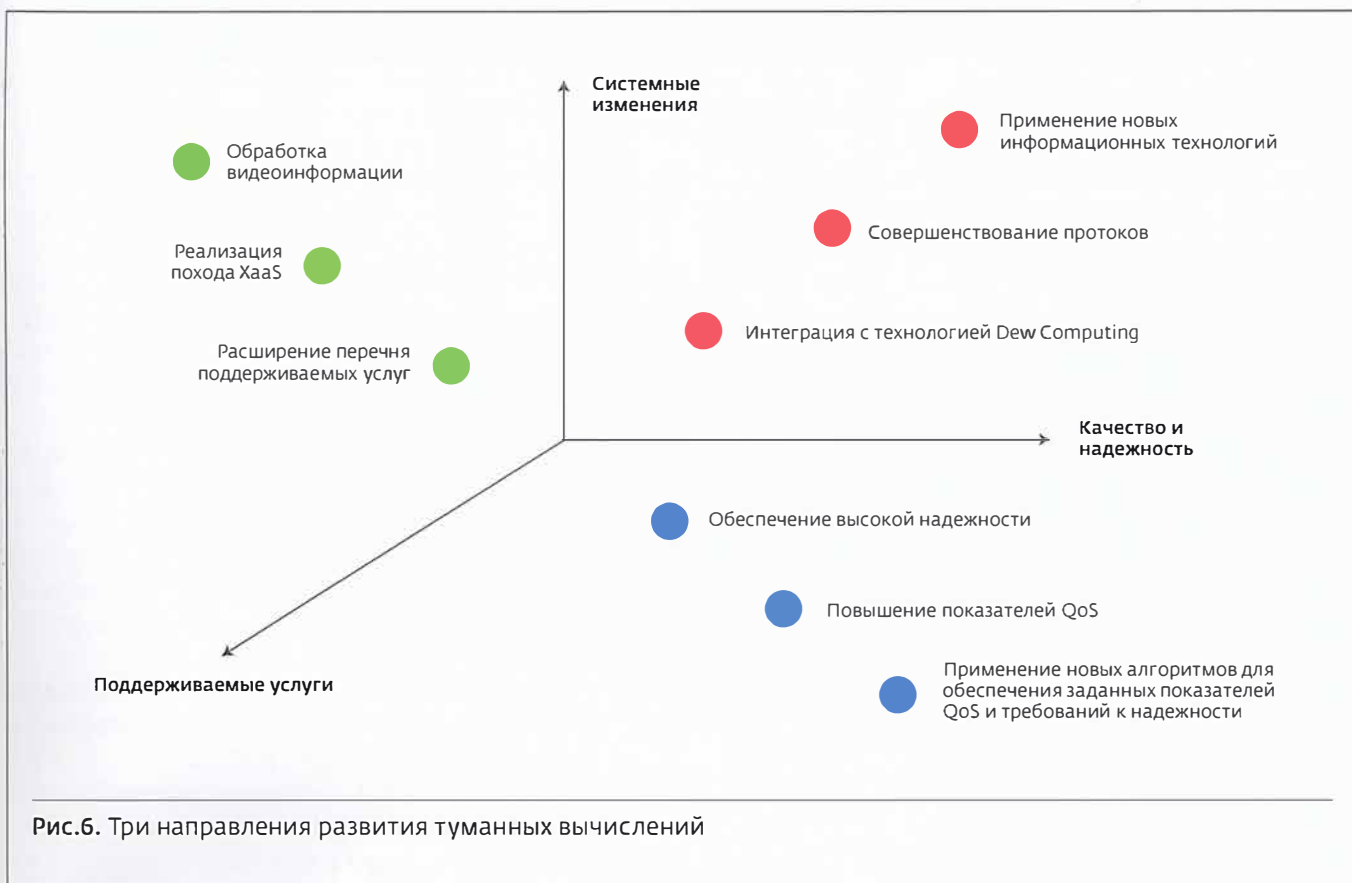


Рис.6. Три направления развития туманных вычислений

средств коммутации и вычислительных ресурсов. Для решения подобных задач используются результаты теории телетрафика [12]. Следует также учесть, что для некоторых IP-пакетов должна быть введена приоритетная дисциплина передачи и обработки [13]. Введение такой приоритетной дисциплины является наиболее сложным аспектом, так как требует поддержки соответствующих алгоритмов на каждом участке телекоммуникационной сети, включая последнюю милю.

В эксплуатационных условиях может потребоваться активация алгоритмов управления телекоммуникационной системой, которые предусматривают ограничение некоторых видов трафика [11, 14]. Для разработки конкретных рекомендаций по применению алгоритмов управления телекоммуникационной системой необходимо накопить и проанализировать опыт функционирования комплекса технических средств, предназначенного для туманных вычислений. До получения необходимых результатов следует использовать алгоритмы, апробированные для сетей обмена данными, созданных до появления концепции туманных вычислений, например, использование параметров QCI (идентификаторов качества

обслуживания) в сетях LTE для управления качеством на радиоучастке, а также управление полосой на участках выше УТВ, то есть в облаке. Такого рода управление полосой и качеством для конкретной сессии обмена данными в зависимости от типа трафика и общего состояния телекоммуникационной системы успешно реализуется в существующих сетях такими элементами, как PCRF/DPI (политика и функции начисления платы/глубокий анализ IP-пакетов).

В условиях чрезвычайных ситуаций могут вводиться процедуры управления трафиком, предложенные в [11, 15]. При этом показатели QoS, приведенные в [2], могут изменяться. Это изменение заключается в присвоении первого относительного приоритета тем IP-пакетам, в которых содержится информация, способствующая эффективной ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Для кратко-, средне- и долгосрочного прогнозирования трафика, обрабатываемого системой туманных вычислений, должен осуществляться мониторинг нагрузки с последующим анализом за счет использования, например, технологий Big Data и Data Mining. Рекомендуется также применять аппарат нейронных сетей [16, 17], хорошо

зарекомендовавший себя для решения задач по анализу трафика.

## ВЕРОЯТНЫЕ ВАРИАНТЫ РАЗВИТИЯ КОНЦЕПЦИИ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Ожидаемые варианты развития концепции туманных вычислений удобно рассматривать с точки зрения трех атрибутов, обозначенных на рис.6 направленными осями. Такой подход позволяет выявить основные тенденции развития туманных вычислений на длительную перспективу. Для каждой оси выделено по три ключевых процесса.

С точки зрения системных изменений концепции туманных вычислений основной интерес представляют следующие процессы: интеграция с технологией Dew Computing, совершенствование протоколов, используемых для обмена информацией различного рода, и применение новых информационных технологий с целью повышения эффективности полученных результатов (нахождения "скрытых" зависимостей, неизвестных ранее закономерностей и им подобных фактов).

Применительно к аспектам качества и надежности услуг, поддерживаемых при помощи туманных вычислений, актуальны следующие направления: обеспечение высокой надежности соответствующего участка телекоммуникационной системы, что достигается использованием резервирования, специальных процедур повышения доступности ресурсов и иными средствами; повышение (уже сточение) показателей QoS для услуг, критичных к перечисленным в [2] параметрам IPTD, IPDV и IPLR; разработка и применение новых алгоритмов, направленных на решение двух, перечисленных выше, задач.

Перечень поддерживаемых услуг будет, несомненно, расширяться. В этом процессе следует выделить реализацию подхода XaaS (Anything-as-a-service), предполагающего предоставление ряда полезных функциональных возможностей как услуги, а также обработку видеoinформации, поступающей от "вещей", по мере формирования спроса на детальный анализ такого трафика.

## ЛИТЕРАТУРА

1. OpenFog Reference Architecture for Fog Computing // OpenFog Consortium. 2017. February. 162 p.
2. Пинчук А.В., Соколов Н.А., Фрейнкман В.А. Общие принципы туманных вычислений // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2018. № 3. С. 38-45.
3. Chiang M., Balasubramanian B., Bonomi F. Fog for 5G and IoT // Wiley. 2017. 305 p.
4. Erl T., Khattak W., Buhler P. Big Data Fundamentals: Concepts, Drivers & Techniques // Prentice Hall. 2015. 218 p.
5. Han J., Kamber M., Pei J. Data Mining. Concept and Techniques // Morgan Kaufmann Publishers. 2011. 703 p.
6. Skala A., Davidovič D., Afgan E., Sovič I., Soja Z. Scalable Distributed Computing Hierarchy: Cloud, Fog and Dew Computing // Open Journal of Cloud Computing (OJCC). 2015. Vol. 2. Issue 1. P. 16-24.
7. Singh B., Li Z., Tirkkonen O., Uusitalo M.A., Mogensen P. Ultra-reliable communication in a factory environment for 5G wireless networks: Link level and deployment study // 27<sup>th</sup> Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication. Spain. 2016. 5 p.
8. Власенко Е.С. Задачи обеспечения надежного доступа к сети связи общего пользования // Вестник связи. 2013. № 12. С. 35-37.
9. Острейковский В.А. Теория надежности. - М.: Высшая школа. 2008. 464 с.
10. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. - М.: Логос. 2002. 392 с.
11. Леваков А.К. Особенности функционирования сети следующего поколения в чрезвычайных ситуациях. - М.: ИРИАС. 2012. 108 с.
12. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. - М.: Горячая линия - Телеком. 2015. 867 с.
13. Джейсуол Н. Очереди с приоритетами. - М.: Мир. 1973. 278 с.
14. Дымарский Я.С., Крутякова Н.П., Яновский Г.Г. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи. - М.: Мобильные коммуникации. 2003. 384 с.
15. Кабанов М.В., Леваков А.К., Соколов Н.А. Система обработки информации о чрезвычайных ситуациях // Патент на полезную модель № 130110 Российской Федерации № 2012155812; заявлен 18.12.2012, опубликован 10.07.2013. Бюллетень № 19. 2 с.
16. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. - М.: Горячая линия - Телеком. 2013. 384 с.
17. Гойхман В., Лапий А. Построение архитектуры нейронной сети для выявления вида распределения случайных величин // Технологии и средства связи. 2016. № 3. С. 36-40.