

---

---

# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 681.518.3

## КОНВЕРГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ СБОРА И РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА<sup>1</sup>

*Статья поступила в редакцию 22.07.2015, в окончательном варианте 23.08.2015.*

**Камаев Валерий Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет, 400131, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, тел. 89047704250, e-mail: Vkamaev40@mail.ru

**Финогеев Егор Алексеевич**, аспирант, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, тел. 89374410714, e-mail: frzegor@yandex.ru

**Финогеев Алексей Германович**, доктор технических наук, профессор, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, тел. 98272899363, e-mail: alexeyfinoeev@gmail.com

**Нефедова Ирина Сергеевна**, аспирант, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, тел. 89875059454, e-mail: nefedya2008@yandex.ru

**Финогеев Антон Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, тел. 89270902350, e-mail: fanton3@ya.ru

В статье рассматриваются вопросы разработки и исследования конвергентной модели GRID, облачных (cloud computing) и туманных (fog computing) вычислений для аналитической обработки больших массивов неструктурированных сенсорных данных (BigSensorData). Такие данные собираются и обрабатываются, в частности, при мониторинге пространственно-распределенных объектов инженерных энергетических сетей; в рамках исследования процессов транспортировки энергии и энергоносителей и т.д. Основной концепцией предлагаемого подхода является сближение (конвергенция) различных моделей распределенной обработки данных: «туманных» вычислений – для обработки, нормализации и агрегирования сенсорных данных на уровне узлов сенсорной сети и/или промышленных контроллеров; модели GRID; «облачных» вычислений – для интеллектуального анализа агрегатов данных, накапливаемых в информационном хранилище диспетчерской SCADA системы. Реализация модели на первом уровне осуществляется в беспроводной среде посредством сенсорных узлов сети ZigBee, а также контроллеров приборов учета и контроля, которые связаны с модемами сетей сотовой связи. На такие узлы загружаются программные агенты, решающие несложные вычислительные задачи по первичной обработке и агрегации данных. На втором уровне агрегированные показатели передаются в Data центр для накопления в многомерном хранилище. На третьем уровне решаются задачи интеллектуального анализа и извлечения знаний в облачном кластере виртуализированной GRID системы. Кластер имеет трехкомпонентную структуру, включающую главный сервер с гипервизором; кластер рабочих серверов небольшой мощности; множество графических процессоров видеокарт с поддержкой технологии Compute Unified Device Architecture.

**Ключевые слова:** распределенные вычисления, облачные вычисления, GRID, туманные вычисления, энергетический мониторинг, энергоменеджмент, интеллектуальный анализ данных, беспроводная сенсорная сеть

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 15-37-50142, 15-07-01720, № 15-57-54033.

**CONVERGENT MODEL COLLECTION  
AND DISTRIBUTED DATA PROCESSING  
IN SYSTEMS OF ENERGY MONITORING**

*Kamaev Valeriy A.*, D.Sc. (Engineering), Professor, Volgograd State Technical University, 28 Lenin Av., Volgograd, 400131, Russian Federation, ph. 89047704250, e-mail: Vkamaev40@mail.ru

*Finogeev Yegor A.*, post-graduate student, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, ph. 89374410714, e-mail: frzegor@yandex.ru

*Finogeev Aleksey G.*, D.Sc. (Engineering), Professor, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, ph. 98272899363, e-mail: alexeyfinogeev@gmail.com

*Nefedova Irina S.*, post-graduate student, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, ph. 89875059454, e-mail: nefedya2008@yandex.ru

*Finogeev Anton A.*, Ph.D. (Engineering), Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, ph. 89270902350, e-mail: fanton3@ya.ru

The questions of development and research of a converging model of the GRID, cloud and fog computing for analytical processing of large volumes of unstructured sensor data (BigSensorData) are considered. The model encouraged to build on the creation of monitoring systems spatially distributed objects energy networks and processes of energy transport and energy. The basic concept of the proposed approach is the convergence models of the organization distributed data processing. The fog computing model is used for the processing, normalization and aggregation of sensor data at the sensor network nodes and/or industrial controllers. GRID or cloud computing model is used for mining aggregates and integral indicators accumulated in the cloud storage dispatching SCADA system. Implementation of the first level model is carried out in a heterogeneous wireless environment including ZigBee sensor network nodes, as well as controllers of instrumentation and control equipment associated with modems cellular networks. The program agents are loading that perform simple computing tasks for the primary processing and data aggregation. The integrated indicators are transferred to the Data Center for accumulation in a multidimensional storage for the purpose of data mining and knowledge discovery of databases in computer clusters scalable virtualized GRID or cloud computing system. Computing cluster has three-tier architecture, which includes the main server at the first level, a cluster of servers SCADA system at the second level, a lot of GPU video card with support for Compute Unified Device Architecture at the third level.

**Keywords:** distributed computing, cloud computing, fog computing, GRID, energy monitoring, energy management, data mining, wireless sensor network

**Введение.** Повсеместное внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами выдвигает на первый план необходимость сбора и обработки большого объема телеметрических (сенсорных) данных с множества датчиков, располагающихся на объектах мониторинга. Эти данные необходимы для анализа / прогнозирования состояния и функционирования объектов, процессов и явлений техногенного и природного характера. Эффективность и качество управленческих решений в современных автоматизированных системах контроля и управления во многом зависят от следующих факторов: оперативности получения информации о контролируемых объектах и процессах; полноты и объективности анализа (обработки) этой информации; наглядности представления результатов обработки для систем поддержки принятия решений [12]. Однако эта проблематика недостаточно полно отражена в существующих работах. Поэтому целью данной статьи была попытка устранить указанный недостаток.

**Общая характеристика проблематики статьи.** В настоящее время наблюдается большой научный и прикладной интерес в отношении разработки и использования телекоммуникационных сенсорных сетей. Особое значение приобретает их применение для дистан-

ционного мониторинга различных объектов и процессов в природных, технических, экологических, медицинских, военных и прочих системах [13, 22, 28]. Наблюдается тенденция к вытеснению проводных телекоммуникаций беспроводными сетями в системах мониторинга пространственно-распределенных объектов. К ним относятся, в частности, инженерные сети энерго-, тепло-, водо- и газоснабжения, нефте- и газопроводы, телекоммуникационные сети и т.п. В таких сетях с большим количеством объектов, расположенных на огромных территориях, не всегда возможно реализовать полномасштабный сбор и передачу данных в единый диспетчерский центр для их обработки в режиме реального времени. Поэтому задача синтеза и исследования модели сбора информации на основе метода распределенных вычислений, реализуемых непосредственно на оконечных пунктах сбора данных, является актуальной. Это стало возможным лишь в последние годы – в связи с появлением и распространением технологий беспроводных сенсорных сетей с узлами, обладающими достаточной вычислительной мощностью и памятью для загрузки программных агентов, способных решать несложные задачи по обработке и агрегированию данных [20].

Для решения фундаментальных и прикладных задач в плане организации сбора, обработки и интеграции больших массивов сенсорных данных (BigSensorData) в процессе мониторинга распределенных объектов и процессов предлагается конвергентный подход к созданию модели распределенных вычислений. Такой подход включает в себя следующие направления: конвергенцию (сближение, схождение) существующих моделей GRID, облачных и туманных вычислений; объединение вычислительных кластеров (grid, облачных и туманных) в единую вычислительную систему; интеграцию серверных приложений бизнес-логики, операционных платформ, хранилищ данных и технологий виртуализации; унификацию механизма администрирования комплексной среды распределенных вычислений – с обеспечением информационной безопасности на всех уровнях обработки и хранения данных.

Исследованиями в области туманных и облачных вычислений занимается ряд научных групп, которые уже имеют интересные результаты в плане практического применения [14, 15, 19, 21]. Например, в университете Саутгэмптона (США) в рамках проекта FloodNet разработана интеллектуальная сенсорная сеть, обеспечивающая прогноз и предупреждение наводнений с использованием платформы туманных вычислений WiseNet. Другой проект (GlacsWeb) посвящен разработке системы облачного мониторинга ледниковой среды в плане прогноза поведения и движения ледников. Корпорация Intel занимается построением и внедрением гибридных моделей облачных вычислений, которые базируются на трех принципах: эффективность в плане энергопотребления и требуемого кадрового потенциала; простота создания вычислительного «облака»; безопасность платформы для снижения рисков и повышения устойчивости эксплуатации. Ведущие мировые компании IBM, Google, Toshiba, Cisco, Microsoft и др. предлагают свои решения по аналитической обработке больших объемов данных с использованием моделей облачных вычислений для следующих целей [17, 23, 26, 32]: поддержки работы энергетического сектора, здравоохранения; создания сервисов по безопасному хранению данных в рамках технологии повсеместного Интернета; межмашинной коммуникации и туманных вычислений с использованием широкого спектра устройств. Одним из направлений исследований в компаниях Toshiba и Cisco является синтез инфраструктуры распределенной обработки данных, полученных с множества распределенных датчиков – на основе архитектуры туманных вычислений для взаимодействия «умных» Интернет вещей [18]. Совместная разработка корпорации Toshiba Corporation и Cisco предполагает объединение инфраструктуры туманной вычислительной сети Cisco (Cisco Fog Computing network) с технологиями Toshiba Group в области управления конечными точками сети для слежения и обслуживания географически (территориально) удаленных многофункциональных устройств.

**Мониторинг пространственно-распределенных объектов сетей инженерных коммуникаций для целей энергоменеджмента.** Энергетический менеджмент (ЭМ) – это действующая система управления энергопотреблением, позволяющая прогнозировать и контролировать процессы выработки, транспортировки и использования необходимого количества энергоресурсов для обеспечения удовлетворения потребностей населения и промышленных предприятий [1, 4, 10]. Цель ЭМ – достижение экономической эффективности в плане оптимизации расходов на производство и транспортировку энергии до конечного потребителя; энергетической безопасности в плане предупреждения рисков, связанных с использованием автоматизированных систем контроля процессов энергоснабжения и энергопотребления [3]. Инфраструктура распределенных инженерных коммуникаций и служб энергоснабжения в городах и их отдельных районах относится к критически важным и потенциально опасным объектам. Разрушение или прекращение энергоснабжения даже отдельных ее элементов, таких как промышленные предприятия, здания и сооружения, социально-значимые объекты (больницы, школы, детские сады и т.п.), может привести к серьезным экономическим потерям; негативным социальным последствиям; снижению уровня безопасности жизнедеятельности населения; возникновению угроз для жизни граждан и т.д. В общем случае процесс ЭМ базируется на энергетическом мониторинге инфраструктурных объектов инженерных коммуникаций и различных ситуаций [27], прогнозе экономических, ресурсных, спросовых и ценовых тенденций [1].

Термин энергетический мониторинг используется здесь для описания процессов наблюдения и сбора данных с пространственно-распределенных объектов в области производства, транспортировки, распределения, потребления и утилизации энергоносителей (газа, воды, электрической энергии и тепла). Основной задачей энергетического мониторинга будем считать измерение и фиксацию параметров объектов городских инженерных коммуникаций жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) и энергетических процессов с целью оценки и прогнозирования производства и потребления энергии каждого из типов (видов); определения необходимых управляющих воздействий (мероприятий) – для повышения эффективности ЭМ [4]. Выявление, анализ и оценка природных, техногенных и антропогенных факторов, которые влияют или потенциально могут влиять на объекты и процессы, являются также важной задачей. Это позволит обеспечить раннее обнаружение возникновения аварийных и внештатных ситуаций; своевременное предупреждение персонала энергогенерирующих, энергоснабжающих предприятий и потребителей энергии; реализовать упреждающее управление рисками. Цель создания автоматизированной системы энергетического мониторинга, включающей подсистемы диспетчеризации и управления энергетическими ресурсами на базе конвергентной модели вычислений, – достижение энергетической результативности за счет повышения энергетической эффективности предприятий и организаций; снижения энергетических потерь при транспортировке энергоносителей; динамической оптимизации энергопотребления в общественных и жилых зданиях с учетом различных факторов.

Основные объекты энергетического мониторинга – сети инженерных коммуникаций, обеспечивающие жизнедеятельность населения, жилищно-коммунальных и промышленных предприятий. Перечислим виды таких сетей: сети внешнего (линии электропередач, подстанции и т.д.) и внутреннего электроснабжения зданий и сооружений; сети наружного освещения объектов городской инфраструктуры; сети внешнего и внутреннего теплоснабжения (городские и внутриквартальные теплосети, тепловые пункты, системы горячего водоснабжения и отопления зданий и сооружений); сети водоснабжения и канализации (природные источники водоснабжения, гидротехнические сооружения, водопроводные и канализационные очистные станции, коллекторы, насосные станции, внутриквартальные сети холодного водоснабжения, внутридомовые сети водоснабжения и канализации); сети газоснабже-

ния (газораспределительные пункты, газопроводы и т.п.); сети для транспортировки нефтепродуктов (распределительные и насосные станции, хранилища, нефтепроводы и т.п.); инженерные системы вентиляции и кондиционирования зданий и сооружений.

Система мониторинга должна обеспечивать решение следующих задач. (1) Сбор, обработка, анализ, хранение и передача информации о местоположении, параметрах состояния распределенных объектов и технологических процессов генерации, транспортировки, потребления и утилизации энергоносителей, о возникновении нештатных и аварийных ситуаций и т.п. [3]. (2) Информационная поддержка мероприятий по обеспечению безопасного функционирования инженерных коммуникаций и других объектов, технологических процессов генерации, транспортировки, потребления и утилизации энергоносителей, предупреждению и локализации кризисных (нештатных) ситуаций, а также ликвидации их последствий. (3) Синтез и анализ прогнозных моделей для интегральной оценки нештатных, аварийных и кризисных ситуаций в отношении распределенных объектов мониторинга и технологических процессов. (4) Прогнозы угроз населению, инженерным коммуникациям, объектам и технологическим процессам генерации, транспортировки, потребления и утилизации энергоносителей в зависимости от изменения состояния их защищенности под влиянием природных, техногенных и антропогенных факторов. (5) Сценарный анализ и оценка развития различных ситуаций на объектах мониторинга. (6) Ведение оперативных баз данных, облачного хранилища и витрин данных для хранения и обеспечения потенциальной доступности сенсорных данных, агрегатов и результатов мониторинга, вариантов управленческих решений по защите объектов, субъектов и технологических процессов. (7) Предоставление в установленном порядке административному персоналу информационных ресурсов системы мониторинга, обеспечение защиты этих ресурсов от несанкционированного доступа и других информационных угроз. (8) Формирование гетерогенной транспортной среды и единого информационного пространства системы мониторинга на основе унификации и совместимости информационных, программных и аппаратных средств. (9) Информационное обеспечение реализации договоров и соглашений в области мониторинга инженерных коммуникаций, технологических процессов генерации, транспортировки, потребления и утилизации энергоносителей и прочих объектов.

Результатом деятельности в сфере ЭМ является разработка (и последующая практическая реализация) перечня мероприятий, направленных на обеспечение оптимального и безаварийного функционирования сетей инженерных коммуникаций в городских системах генерации, транспортировки, потребления, учета и утилизации энергоресурсов. Эти мероприятия могут иметь следующие направления: повышение эффективности и оперативности работы диспетчерских служб; использование технологий энергосбережения на всех уровнях транспортировки и потребления энергоресурсов; минимизацию энергопотерь при транспортировке энергоресурсов в системах инженерных коммуникаций; оптимизацию энергопотребления конечными потребителями; внедрение технологий распределенного сбора и обработки данных в процессе мониторинга состояния инженерных коммуникаций и технологических процессов в системах теплоснабжения; предотвращение или снижение вероятностей возникновения нештатных ситуаций; оперативное реагирование на нештатные, аварийные и чрезвычайные ситуации, катастрофы природного и техногенного характера; своевременное обеспечение профилактических и ремонтных работ на инженерных системах; оптимизация выполнения взаимосвязанных расчетов между поставщиками энергоресурсов и потребителями [9] и т.д.

**Обоснование необходимости разработки конвергентной модели распределенных вычислений для систем энергетического мониторинга.** Ряд экономических факторов привел к появлению инфраструктур, представляющих программные и вычислительные средства в виде облачных (cloud) сервисов [14]. Такие сервисы обеспечивают большую эффективность использования приложений за счет ограничения капитальных вложений и снижения стоимости владения корпоративными информационными системами.

Можно выделить три основные модели организации распределенных вычислений: параллельные GRID вычисления; облачные вычисления (cloud computing); туманные вычисления (fog computing). GRID вычисления базируются на архитектуре компьютерных сетей, объединяющих отдельные вычислительные узлы. Организация вычислительного процесса предусматривает распределение (в том числе и динамическое) отдельных частей задания по свободным в данный момент вычислительным ресурсам сети. Такой подход используется для решения задач, слишком сложных для отдельно взятого узла.

Облачные вычисления (cloud computing) – это не только распределение заданий по сетевым узлам вычислительных ресурсов. Прежде всего, это модель предоставления повсеместного сетевого доступа к общему пулу конфигурируемых ресурсов (программных, серверных, информационных, платформенных и т.д.) в любой момент времени. Пользователь использует технологию «тонкого» клиента в качестве средства доступа к приложениям, платформам и данным, а вся инфраструктура информационной системы находится у провайдера облачных сервисов. Туманные вычисления — это виртуальная платформа распределенных вычислений и служб хранения информации на оконечных терминальных устройствах, а также сетевых служб передачи данных в центры сбора, хранения и обработки. Такие вычисления выполняются терминальными устройствами с ограниченными вычислительными и энергетическими ресурсами – в том числе контроллерами промышленного оборудования, микропроцессорами устройств бытовой техники, узлами сенсорных сетей.

Причинами разработки конвергентной модели распределенных вычислений являются существующие проблемы в плане информатизации процессов ЭМ, подробно рассмотренные в [11]. (1) «Непрозрачности» информации, которая связана с закрытостью форматов данных информационных систем (ИС) разных разработчиков, – это недопустимо для предприятий обслуживающих критически важные и потенциально опасные инженерные объекты и системы. (2) Рассогласованности данных и протоколов, что связано с использованием разными производителями проприетарных аппаратных и программных систем сбора, учета и обработки телеметрической информации. (3) Дублирования и «рассинхронизации» информации – одни и те же данные, необходимые для решения разных задач дублируются в различных базах данных (БД) ИС, зачастую в собственных форматах хранения – это приводит к необходимости решения задач их синхронизации и проверки достоверности. (4) Рассогласованности потоков данных, связанная с использованием разных сетевых технологий и телекоммуникационных решений. (5) Качественного учета данных в ИС для контроля энергоснабжения и энергопотребления [8] – эта проблема возникает из-за различий в отраслевой / ведомственной принадлежности предприятий электро-, тепло-, водо- и газоснабжения и отсутствия унифицированных систем мониторинга.

Для решения этих проблем предлагается использовать технологии облачного хранения, облачных и туманных вычислений – имея в виду объединение автоматизированных систем диспетчеризации городских служб энергоснабжения и энергопотребления. Например, проблема дублирования и рассинхронизации данных в БД разных служб решается за счет использования единого облачного информационного хранилища. Технология туманных вычислений позволит выполнять обработку данных в плане их очистки и приведения к общему формату. Это решит проблему рассогласованности данных и протоколов. Технология облачных вычислений поможет в решении проблемы непрозрачности данных в автоматизированных системах разных организаций.

**Платформа туманных вычислений на базе беспроводной сенсорной сети.** Первый уровень конвергентной модели вычислений целесообразно реализовать в виде платформы туманных вычислений (fog computing) [21] посредством программных агентов, интегрированных в узлы беспроводной сенсорной сети (БСС) и / или в промышленные контроллеры.

Для реализации платформы предлагается использовать БСС на основе технологии Zig-Bee. Сенсорный узел такой сети, как правило, имеет микроконтроллер с предустановленной ОС; флеш-память; интерфейс для получения данных с датчиков и приборов автоматики, учета и контроля; радиointерфейс для передачи данных и агрегатов через цепочку ретрансляторов на шлюз с сегментами центрального вычислительного кластера. В частности можно использовать сенсорные узлы компании Jennic с радиointерфейсом стандарта 802.15.4, программным обеспечением JenNet и операционной системой (ОС) JenOS. ОС использует протокол IP на сетевом уровне поверх протокола 802.15.4. Это позволяет обращаться к узлам сенсорной сети по запросам, передаваемым посредством IP-пакетов с IP адресацией через TCP-порт.

Терминальные вычислительные узлы распределены по периферии сети и обработка информации в них производится в режиме реального времени в процессе сбора данных [22]. Согласно модели туманных вычислений предполагается, что сенсорные узлы будут использоваться не только для сбора данных с датчиков и приборов промышленной автоматики, но и для их структурирования, агрегирования, шифрования и передачи в диспетчерский центр. При этом туманная обработка заключается в вычислении агрегированных энергетических показателей непосредственно в сетевых узлах. Затем эти показатели передаются для интеграции на следующем уровне модели сбора / обработки данных в «облачное» хранилище. Конечной целью является извлечение и интеллектуальный анализ информации в кластерах виртуализированной GRID-системы.

Использование единой телекоммуникационной среды для объединения сенсорных узлов сбора и обработки данных, распределенных на большой территории, приводит к рискам информационной безопасности. Отметим, в частности, угрозы распространения «промышленных» вирусов и троянских программ. Они могут дистанционно загружаться на контроллеры и сенсорные узлы БСС; мигрировать по промышленным сетям; выполнять определенные деструктивные действия. Фактически такая вирусная программа представляет собой программный агент, который не санкционировано расширяет функциональность «зараженных» устройств; заставляет их выполнять не свойственные им функции. Аналогичный подход может быть применен для создания системы интеллектуальных программных агентов, которые загружаются дистанционно на терминальные устройства и решают задачи накопления данных, вычисления агрегируемых показателей, свертки и т.п. Вычислительная мощность современных сенсорных узлов и контроллеров на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), ОС и программные прошивки позволяют существенно расширить функциональность узлов для выполнения достаточно сложных процедур по преобразованию и аналитической обработке сенсорных данных.

Перенос на сенсорные узлы ряда операций, связанных с обработкой первичных сенсорных данных в плане их очистки, нормализации, агрегирования, кластеризации и фильтрации, обеспечивает следующие положительные эффекты: снижение загруженности трафиком низкоскоростных сенсорных сетей – поскольку будут передаваться только агрегированные показатели за заданные интервалы времени (в формате, пригодном для загрузки в информационное хранилище); повышение времени автономной работы сети за счет снижения количества передач (объема трафика), требующих расхода энергии источников питания, размещенных в автономных узлах БСС; снижение нагрузки на серверные приложения в центральном вычислительном кластере; уменьшение длин очередей заданий к узлам вычислительного кластера от множества сенсорных узлов – так как часть функций по обработке данных будет распределена по узлам сети; уменьшение объема данных в информационном хранилище – за счет исключения загрузки в него агрегированных данных, дублирования данных; возможность перехода к обработке сенсорных данных в режиме реального времени; мониторинг работы промышленных контроллеров и датчиков непосредственно на терминальных узлах – путем реализации возможности удаленного доступа к агрегированным дан-

ным, функций журналирования событий и оповещения о критических состояниях на контролируемых объектах [2].

Пример архитектуры беспроводной транспортной среды для реализации модели туманных вычислений в процессе обработки больших сенсорных данных приведен на рисунке 1.

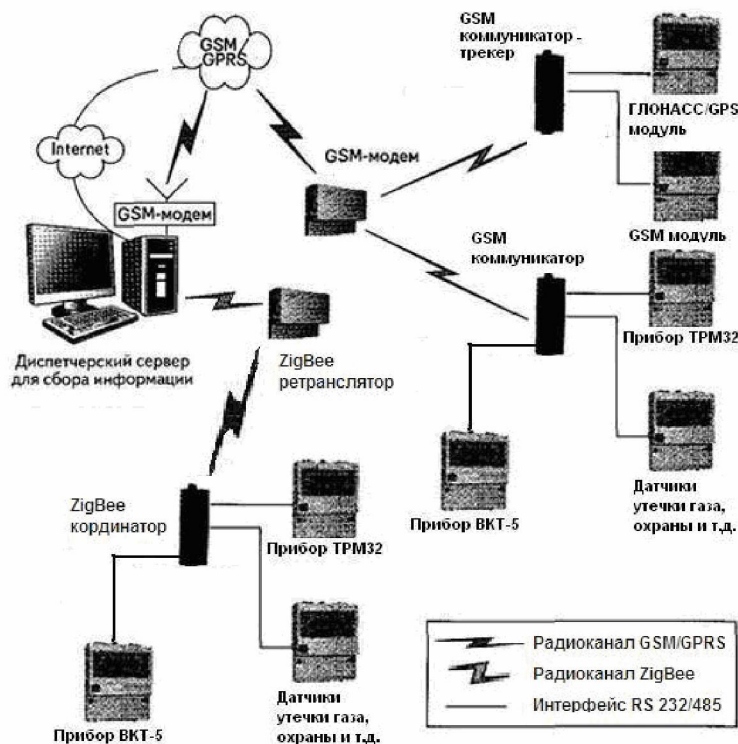


Рис. 1. Беспроводная транспортная среда для реализации модели туманных вычислений

Следует отметить, что инфраструктура гетерогенной сети [12, 13] позволяет не только выполнять мониторинг, анализировать оперативные и архивные показания приборов учета, но и передавать управляющие воздействия на исполнительные механизмы, что особенно важно учитывать в плане обеспечения ее информационной безопасности.

**Гиперграфовое представление модели туманных вычислений.** Гетерогенную среду конвергентных вычислений в аналитической форме можно представить в виде гиперграфовой модели с двумя подмножествами вершин и ребер; расширенным набором свойств:

$$G = (V(V_{\{x,y\}}^{id}, V_{\kappa}^{pa}), U(U_{const}^{id}, U_{var}), P).$$

В этой формуле подмножество вершин  $V_{\{x,y\}}^{id}$  описывает сетевые узлы с весовыми (*id*) атрибутами, характеризующими вычислительные особенности контроллеров и координатами  $\{x,y\}$  пространственно-распределенных узлов; подмножество вершин  $V_{\kappa}^{pa}$  определяет загружаемые программные агенты с атрибутами (*pa*), характеризующими параметры модулей, и атрибутами « $\kappa$ », определяющими вычислительные функции; подмножество гиперребер  $U_{const}^{id}$  постоянной инцидентности описывает каналы передачи данных с весовыми (*id*) атрибутами; подмножество гиперребер  $U_{var}$  переменной инцидентности описывает виртуальные маршруты миграции загружаемых программных агентов на узлы и контроллеры; «*P*» – бинарный предикат, определяющий инцидентность вершин и гиперребер. В графической форме фрагмент кластерной сенсорной среды представлен на рисунке 2.



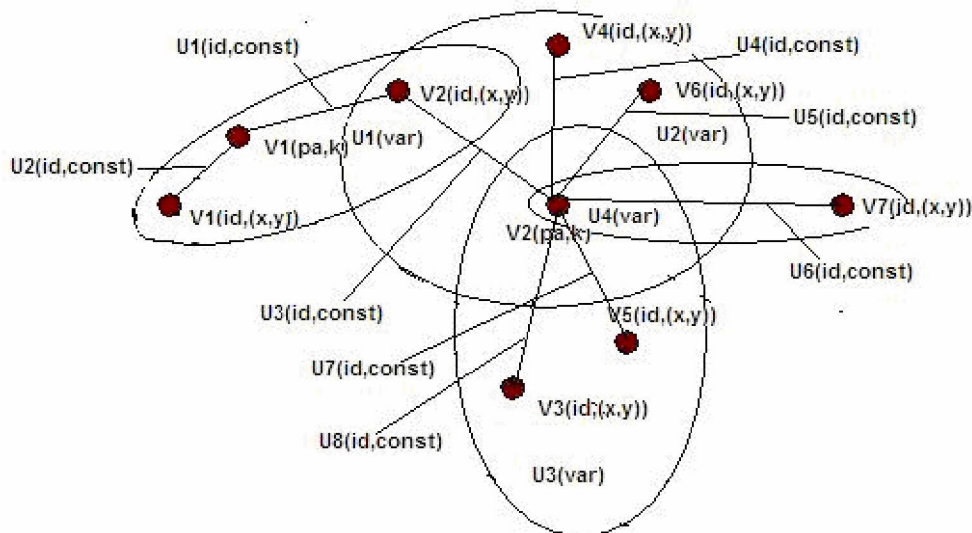


Рис. 2. Гиперграфовое представление модели туманных вычислений (фрагмент)

На этом рисунке вершинами  $V_1(id,(x,y)) - V_7(id,(x,y))$  обозначены сенсорные узлы;  $V_1(pa,k) - V_2(pa,k)$  – программные агенты; вырожденными гиперребрами  $U_1(id,const) - U_8(id,const)$  отображены постоянные каналы передачи данных в сенсорном сегменте древовидной архитектуры;  $U_1(var) - U_4(var)$  – виртуальные динамические маршруты миграции программных агентов. В случае использования сенсорной сети ячеистой архитектуры, когда существует несколько возможных маршрутов передачи данных, гиперребра  $U_i(id,const)$  становятся классическими и включают множество вершин  $V_i(id,(x,y))$ .

Подмножество вершин  $V_{(x,y)}^d$  определяет различные виды устройств – в том числе процессоры сенсорных узлов и контроллеры приборов автоматизации, учета и контроля энергоносителей, а также разные операционные платформы и программные прошивки. Поэтому в этом подмножестве выделяются кластеры однотипных вершин, сгруппированных по вычислительной мощности и платформам. Они позволяют загружать агенты определенного класса, подмножество вершин которых  $V^{pa}$  разделено также на кластеры. Гиперребра постоянной инцидентности  $U_{const}(a_1, \dots, a_n)$ , где  $n = const$ , делятся на кластеры, объединяющие сегменты конкретной сетевой технологии. Гиперребра  $U_{var}$  объединяют подмножества вершин, моделирующие программные агенты, с подмножеством вершин, моделирующих конкретные типы контроллеров и сенсорных узлов, в которые они загружаются для выполнения вычислительных задач.

Особенности представленной гиперграфовой модели: множество гиперребер  $U_{var}(b_1, \dots, b_m)$  является структурой, динамически изменяющейся в реальном времени; геопространственная привязка вершин, моделирующих узлы туманных вычислений, позволяет решать задачи пространственно-временного анализа миграционных процессов программных агентов при обработке данных.

Для семантического описания конвергентной инфраструктуры распределенных вычислений может быть использована реляционная модель атрибутивной БД. Вершине гиперграфа соответствует статическая запись с атрибутами конкретного объекта мониторинга и устройства обработки информации. Гиперребру  $U_{const}$  соответствует также статическая запись, а гиперребру  $U_{var}$  – динамически изменяющаяся запись.

Пусть сенсорные данные собираются и обрабатываются на  $i$ -ом узле сенсорной сети, а программный агент мигрирует по  $j$ -ому виртуальному маршруту с затратами энергии на его передачу  $q_i$  в течение заданного интервала времени. Каждый узел имеет запас энергии  $e_i$  для автономной работы и тратит энергию  $e_j$  на обработку данных  $j$ -ым программным аген-

том. Тогда время автономной работы узла с энергетическими затратами на миграцию агента и обработку данных можно определить как:

$$t_i = e_i / (\sum_{j \in N} (q_j) * \sum_{j \in M} (e_j)),$$

где:  $N$  – число маршрутов миграции агентов,  $M$  – число узлов обработки данных.

Общее время автономной работы сенсорного сегмента:  $T_{\text{сер}} = \sum_{i \in N} (t_i(q_i))$ .

**Модель «облачных» вычислений для обработки сенсорных данных.** Эта модель возникла, как развитие модели параллельных распределенных вычислений (GRID computing) [14]. Однако облачные сервисы включают не только распределение частей вычислительных задач, но и предоставление доступа к общим программным, информационным, аппаратным и сетевым ресурсам. Пользователи используют клиентские приложения в качестве средства доступа к информации, а вся инфраструктура ИС находится у специализированной компании, представляющей соответствующие сервисы.

В документе IEEE «ORGs for Scalable, Robust, Privacy-Friendly Client Cloud Computing» [24] облачная обработка данных определена как технология распределенных вычислений, в рамках которой информация хранится в облачном хранилище на серверах в сети Интернет и временно кэшируется на клиентской стороне для аналитической обработки. Национальным институтом стандартов и технологий США (NIST – National Institute of Standards and Technology) определены характеристики облачных технологий [16]: самообслуживание (пользователь определяет требования к вычислительным ресурсам); свободный доступ (пользователю предлагается повсеместный доступ к ресурсам сети передачи данных – вне зависимости от его окончательного устройства); пул ресурсов (провайдер облачного сервиса объединяет ресурсы в единый пул для динамического перераспределения мощностей в процессе обслуживания пользователей – с обеспечением масштабируемости услуг при изменении спроса); эластичность (услуги должны быть быстро и эластично предоставлены в автоматическом режиме в любой момент времени без дополнительных затрат на взаимодействие и могут меняться в зависимости от требований пользователя); учёт потребления и мониторинг (провайдер выполняет контроль, оценку и оптимизацию потребляемых пользователем ресурсов).

С позиций провайдера, облачные технологии позволяют использовать меньшие программно-аппаратные вычислительные ресурсы – за счет представления их в аренду пользователям на время использования сервиса [15]. С позиций пользователей преимущество «облачных» технологий – возможность получения услуг в любое время и в любом месте с вычислительных средств небольшой мощности – за счет использования «тонкого» клиента для доступа [30, 33].

Сегодня распространены три модели облачного сервиса. (1) Программное обеспечение как услуга (SaaS – Software-as-a-Service) – пользователь арендует прикладное ПО у провайдера и использует его через «тонкий» клиент независимо от аппаратной платформы. (2) Инфраструктура как услуга (IaaS – Infrastructure-as-a-Service) – пользователь применяет облачную инфраструктуру (виртуальный сервер и систему хранения данных) для управления вычислительными и информационными ресурсами. (3) Платформа как услуга (PaaS – Platform-as-a-Service) – пользователь применяет облачную платформу (кластер виртуальных серверов и средства создания, конфигурирования, тестирования и использования прикладного ПО) для создания и интеграции программного обеспечения. К указанным моделям могут добавляться и другие – например, данные как услуга (DaaS – Data as a service); коммуникации как услуга (Caas – Communication as a service) и т.д.

Для систем энергетики существуют требования безопасности, ограничивающие перенос SCADA систем энергетического мониторинга на облачную инфраструктуру, а также технологические и финансовые ограничения. Основной проблемой использования облачных технологий в этом случае является то, что клиентам требуется фактически вступить в доверительные отношения высокого уровня со сторонней организацией (сервис-провайдером), предоставив ему право

решать вопросы информационной безопасности. Такой подход не всегда оправдан, а в ряде случаев и совершенно невозможен – например, в случае мониторинга энергетических объектов, относящихся к критически важным и потенциально опасным объектам [3].

**Структура системы распределенных вычислений на базе конвергентной модели.** Архитектура системы, реализующей конвергентную модель распределенных вычислений, может включать пять программно-аппаратных уровней [6, 13].

1. Множество сенсорных узлов, связанных с датчиками и промышленными контроллерами, непосредственно реализующих туманные вычисления.
2. Координаторы кластерных сенсорных сегментов; модемы сотовой связи; ретранслирующие маршрутизаторы; центральные координаторы сети, осуществляющие сбор и доставку сенсорных данных и интегральных показателей в центральное информационное или «облачное» хранилище через шлюзы, связывающие сетевую транспортную среду с сегментами Internet/Intranet сетей.
3. Вычислительный кластер GRID или облачных вычислений.
4. Информационное («облачное») хранилище сенсорных данных, агрегированных показателей и результатов мониторинга.
5. Множество пользовательских устройств – для организации повсеместного доступа к вычислительным и информационным ресурсам системы [30, 33].

Для управления программными агентами, загружаемыми на узлы среды туманных вычислений, необходим сетевой гипервизор, способный консолидировать вычислительные ресурсы данной модели, представляя ее как многопроцессорную систему для распределенной обработки сенсорных данных. Программные агенты могут взаимодействовать с ОС сенсорных узлов, с программами сбора данных, с другими агентами и серверами центрального кластера. Агентный подход представляет собой модель вычислений, в которой понятие «агент» обозначает универсальный программный шаблон, предназначенный для параллельной обработки данных. Агент является вычислительной сущностью, которая отвечает на получаемые запросы, принимает решения по обработке данных, клонирует себя для миграции на другие вычислительные узлы в сети. Агенты посылают сообщения друг другу и центральному узлу, реагируют на сообщения от других агентов.

Особенностью модели агентов является реализация некоторого поведения. Оно определяется в виде математической функции, управляющей действиями по обработке сенсорных данных, а также действиями по определению нового поведения при условии возникновения ситуаций определенного рода (например, при выходе значений вычисляемых интегральных показателей за допустимые пределы). Миграцией агентов будем называть их способность дублировать самих себя и распространять свои копии на другие узлы сети. Безопасность функционирования агентов в БСС может быть обеспечена одним из следующих способов: предустановкой на этапе прошивки сенсорного узла (запрет процесса миграции); установкой и конфигурированием в процессе функционирования системы мониторинга – с помощью специализированного оборудования (миграция разрешена в ручном режиме); установкой с помощью гипервизора – через защищенные каналы связи (VPN сети); установкой в виде встраиваемых служб операционной платформы и проприетарных протоколов для сенсорных узлов и контроллеров от конкретного производителя – непосредственно на этапе их разработки; использованием стандартных средств информационной защиты, таких как применение цифровой подписи, цифровой сертификации и шифрования сообщений, которыми обмениваются агенты.

Для обеспечения информационного взаимодействия сенсорных сегментов через шлюзы с центральным вычислительным кластером в среде туманных вычислений предлагается также реализовать модель интеллектуальных брокеров. Брокером будем называть программный агент, разворачиваемый на маршрутизаторах сети и реализующий функции накопления,

защиты и передачи данных. В этом случае можно использовать специальный протокол обмена сообщениями MQTT (Message Query Telemetry Transport) [25], предназначенный для использования в сетях с минимумом энергетических и вычислительных ресурсов. Для интеграции агрегатов сенсорных данных в хранилище при помощи протокола MQTT требуется соединение с брокером или сервером обмена, поддерживающим протокол MQTT – например, с WebSphere Message Broker.

Сбор результатов туманных вычислений, поступающих из сенсорных сегментов ZigBee сети, осуществляется с помощью MQTT посредством брокера. Брокер загружается в шлюз с сетью вычислительного кластера, который обеспечивает взаимодействие протокольного стека сери ZigBee и MQTT-клиента. В качестве шлюза, в который загружается брокер, выступает центральный координатор сенсорной сети ZigBee или модемное устройство сбора данных от оконечных узлов через сеть сотовой связи. Функциями брокера являются обработка сенсорных данных и агрегатов, поступающих в координатор; преобразование кадров с данной информацией для интеграции в информационное хранилище; защита данных путем шифрования [6]; поддержка алгоритма «скользящего» окна на уровне TCP для обеспечения надежной передачи и т.д.

Наличие координаторов и маршрутизаторов с IP-адресацией в сенсорных сегментах гетерогенной сети упрощает задачу интеграции MQTT брокера в систему конвергентных вычислений, а использование технологии MQTT дает возможность использовать таблицу брокеров при подключении к серверному кластеру новых сенсорных сегментов.

**Инструментальные средства для реализации конвергентной модели распределенных вычислений в системах энергетического мониторинга.** Для разработки программного обеспечения системы конвергентных вычислений, включающей ПО брокеров, программных агентов и серверных приложений распределенных вычислений, предлагается использовать функциональный язык программирования Erlang [29]. Данный язык программирования предназначен для создания распределенных вычислительных систем. Язык включает в себя средства порождения параллельных облегченных процессов и обеспечения их взаимодействия через обмен асинхронными сообщениями в соответствии с мультиагентной моделью. Язык программирования обладает также встроенными возможностями распределенных вычислений, такими как объединение в кластер, балансировка нагрузки, добавление узлов и серверов, повышение надежности вычислений. Erlang был специально разработан для применения в распределенных, отказоустойчивых, параллельных системах реального времени, для которых имеются библиотеки модулей и шаблонов (поведений) – фреймворк OTP (Open Telecom Platform). Отказоустойчивость обеспечивается применением изолированных друг от друга облегченных процессов, связанных механизмом обмена сообщениями и сигналами выхода. Программа на Erlang транслируется в байт-код, исполняемый виртуальными машинами, находящимися на различных узлах распределенной вычислительной сети. Erlang-система поддерживает «горячую» замену программного кода брокеров и агентов. Это позволяет эксплуатировать оборудование безостановочно.

Использование облегченных процессов в соответствии с моделью агентов позволяет выполнять одновременно множество процессов на распределенных узлах с ограниченными емкостными и вычислительными ресурсами. Требования к памяти минимизируются за счет того, что облегченными процессами управляет виртуальная машина, а не средства ОС. Хотя процессы изолированы друг от друга, между ними можно установить асинхронный обмен сообщениями по протоколу TCP/IP, независимо от поддерживаемых операционных платформ. Для выполнения требований информационной безопасности коммуникация между процессами и узлами может происходить с применением защищенного криптографическими методами протокола SSL и использования специальных схем управления ключами [7].

Для создания серверных приложений на языке Erlang используется набор поведений фреймворка OTP. Данный набор формализует действия процессов и позволяет строить на их основе OTP-приложения. В модулях OTP определены шаблоны для конструирования параллельных приложений. Например, сервер и наблюдатель, конечный автомат, обработчик событий и др. OTP-поведения делятся на рабочие процессы (выполняют обработку запросов) и процессы-наблюдатели (следят за рабочими процессами).

Для повышения эффективности обработки данных и агрегатов в многомерном хранилище предлагается метод хранения, основанный на комбинации промышленного SQL хранилища с нереляционной системой хранения данных. Для этого вместе с СУБД Oracle используется распределенная нереляционная система Cassandra для кэширования срезов многомерного хранилища. Это обеспечивает повышение скорости выборки данных, а также его отказоустойчивость и масштабируемость. Система Cassandra на платформе Java включает в себя распределенную хеш-систему, что обеспечивает масштабируемость при увеличении объема данных. Специфика работы нереляционной компоненты такова, что постоянное удаление и изменение данных в хранилище не требуется. Данные только пополняются в моменты опроса OPC (OLE for Process Control) серверов и вычислений интегральных показателей на удаленных узлах в среде туманных вычислений. Каждая запись нереляционной компоненты представляет собой кэшированный срез реляционной БД Oracle.

Инструментарий интеллектуального анализа данных [6] работает на стороне вычислительного GRID кластера серверов и разрабатывается на платформе Java Enterprise Edition (J2EE) с использованием многослойной платформы Spring framework и технологии объектно-реляционного проецирования ORM (Object-relational mapping) Hibernate [5]. Библиотека Hibernate решает задачи объектно-реляционного проецирования для связи классов Java с таблицами БД, типов данных Java с типами данных SQL. Объектно-реляционный адаптер Hibernate используется для обеспечения гибкости запросов и прозрачности работы с хранилищем через систему Cassandra.

В качестве серверной платформы в системе анализа данных и поиска знаний можно использовать сервер приложений JBoss Application [6]. Обмен данными между «тонкими» клиентами и серверами вычислительного кластера реализуется на базе протоколов HTTPS и AMF (Adobe Media Format) с использованием платформы Adobe Flex и технологии ActionScript. Трехкомпонентная архитектура вычислительного кластера включает центральный сервер, на котором функционирует сетевой гипервизор; GRID решетку вычислительных серверов небольшой мощности и множество графических процессоров видеокарт серверных узлов с поддержкой технологии CUDA (Compute Unified Device Architecture) — для параллельной обработки данных с целью повышения производительности и вычислительной мощности.

**Заключение.** Проведенные исследования в направлении синтеза и реализации модели конвергентных вычислений позволили сделать следующие выводы.

1. Конвергентный подход к организации распределенных вычислений, подразумевающий сближение (конвергенцию) технологий распределенной обработки данных (GRID, облачных и туманных вычислений), имеет большие перспективы для решения задач сбора, обработки и интеграции сенсорных данных, получаемых в процессе мониторинга и контроля пространственно-распределенных объектов и технологических процессов, в частности, в системах энергетики. Такие перспективы обосновываются современным уровнем развития беспроводных телекоммуникационных технологий, программно-аппаратных средств сенсорных сетей и промышленных контроллеров на основе ПЛИС, встраиваемых в приборы автоматики и учета энергоресурсов.

2. Конвергентная модель распределенных вычислений включает три основных уровня обработки и хранения сенсорных данных. На первом уровне туманных вычислений обработка и агрегация сенсорных данных реализуется посредством мигрирующих программных

агентов в узлах БСС ZigBee и в контроллерах, встроенных в приборы промышленной автоматики и учета энергоресурсов. На следующем уровне сенсорные данные и агрегаты интегрируются в многомерном облачном хранилище, создаваемом на основе комбинации промышленного SQL хранилища типа Oracle и распределенной нереляционной системы Cassandra для кэширования срезов данных. Третий уровень обработки данных реализуется в виде трехкомпонентного серверного кластера. Он включает в себя главный сервер с управляющим гипервизором, сеть серверов небольшой мощности в локальной сети, множество графических процессоров видеокарты сервера с поддержкой технологии CUDA.

3. Информационное взаимодействие агентов туманных вычислений между собой, с СУБД облачного хранилища и с серверными приложениями центрального кластера обеспечивается посредством интеллектуальных брокеров через протокол MQTT. Для управления агентами и брокерами используется сетевой гипервизор, который консолидирует распределенные ресурсы в многопроцессорный комплекс. Функциональность агентов и брокеров определяется как математическая функция, определяющая действия по обработке сенсорных данных и выбору вариантов поведения для реагирования на возникающие события. Эта функциональность реализуется на языке Erlang. Серверные приложения работают в вычислительном кластере на платформе J2EE с использованием платформы Spring framework и технологии ORM Hibernate.

4. Основными преимуществами обработки сенсорных данных на базе конвергентной модели распределенных вычислений являются следующие: снижение нагрузки на серверный кластер; уменьшение объема трафика в низкоскоростных сенсорных сетях; повышение продолжительности автономной работы БСС и ее узлов; уменьшение объема данных в хранилище; возможность мониторинга работы контроллеров и датчиков на терминальных узлах в реальном времени; возможность получения значений интегральных показателей на мобильные средства связи непосредственно с терминальных узлов – без обращения к центральному хранилищу и т.п.

#### Список литературы

1. Андрижиевский А. А. Энергосбережение и энергетический менеджмент / А. А. Андрижиевский, В. И. Володин. – 2-е изд. – Минск : Вышэйшая школа, 2005. – 294 с.
2. Брейман А. Д. Многомерное хранение журналов событий для извлечения и анализа процессов / А. Д. Брейман, Е. М. Богословский // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2. – С. 127–138.
3. Брумштейн Ю. М. Анализ и управление энергобезопасностью деятельности медицинских учреждений / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Захаров, И. А. Дюдиков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 1. – С. 38–44.
4. ГОСТ Р ИСО 50001-2012 «Системы Энергетического Менеджмента. Требования и руководство по применению». – Введен 2012–12–01. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 52 с.
5. Лукьянчиков О. И. Проектирование распределенных баз данных в гибридной облачной инфраструктуре на основе объектно-реляционного отображения / О. И. Лукьянчиков, Е. В. Никульчев, С. В. Паяин, Е. В. Плужник // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 3 (27). – С. 122–132.
6. Камаев В. А. Инструментальные средства облачного мониторинга распределенных инженерных сетей / А. Г. Финогеев, И. С. Нефедова, Е. А. Финогеев // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». – 2014. – Т. 22, № 25, вып. 20. – С. 164–176.
7. Камаев В. А. Схемы управления ключами с использованием кадров маршрутной информации в беспроводных сенсорных сетях SCADA систем / В. А. Камаев, Куанг Винь Тхай, А. Г. Финогеев, И. С. Нефедова, А. А. Финогеев, П. В. Ботвинкин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 3 (27). – С. 197–215.

8. Савкина А. В. Проблемы качества данных в автоматизированных системах коммерческого учета потребления энергоресурсов / А. В. Савкина, А. С. Федосин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2. – С. 158–164.
9. Федосин А. С. Применение методов линейной оптимизации для выравнивания остатков денежных средств на лицевых счетах в процессе осуществления начисления платы за ЖКУ / А. С. Федосин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 1. – С. 155–166.
10. Федоськина Л. А. Терминологические особенности энергетического менеджмента / Л. А. Федоськина, Е. И. Абрамов // Экономический анализ: теория и практика. – 2014. – № 22 (373). – С. 16–22.
11. Финогеев А. Г. Анализ данных в системе диспетчеризации городского теплоснабжения / А. Г. Финогеев, И. С. Нефедова, Е. А. Финогеев, Куанг Винь Тхай, В. А. Камаев, С. В. Шевченко, А. А. Финогеев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2 (26). – С. 182–197.
12. Финогеев А. Г. Оперативный дистанционный мониторинг в системе городского теплоснабжения на основе беспроводных сенсорных сетей / А. Г. Финогеев, В. Б. Дильман, А. А. Финогеев, В. А. Маслов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2010. – № 3. – С. 27–36.
13. Финогеев А. Г. Система удаленного мониторинга и управления сетями теплоснабжения на основе беспроводных сенсорных сетей / А. Г. Финогеев, В. Б. Дильман, В. А. Маслов, А. А. Финогеев // Прикладная информатика. – 2011. – № 3 (33). – С. 83–93.
14. Armbrust M. Above the clouds: A Berkeley view of cloud computing / M. Armbrust, A. Fox, R. Griffith, A. Joseph, R. Katz, A. Konwinski, G. Lee, D. Patterson, A. Rabkin, I. Stoica. – Berkeley : EECS Department, University of California, 2009. – 23 p.
15. Arunkumar G. A Novel Approach to Address Interoperability Concern in Cloud Computing / G. Arunkumar, Neelanarayanan Venkataraman // Procedia Computer Science. – 2015. – Vol. 50. – P. 554–559.
16. Badger L. Cloud Computing Synopsis and Recommendations. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology / L. Badger, T. Grance, R. Patt-Corner, J. Voas. – Available at: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-146/sp800-146.pdf> (accessed: 13.08.2015).
17. Cisco and Microsoft Extend Relationship with New Cloud Platform // The Network. – Available at: <http://newsroom.cisco.com/press-release-content?type=webcontent&articleId=1608152> (accessed: 01.08.2015).
18. Desire Athow Toshiba bets big on Internet-of-Things / Desire Athow // TechRadar.Pro. – Available at: <http://www.techradar.com/news/world-of-tech/toshiba-bets-big-on-internet-of-things-1282446> (accessed: 14.08.2015).
19. Eisa Aleisa Wireless Sensor Networks Framework for Water Resource Management that Supports QoS in the Kingdom of Saudi Arabia Original Research Article / Eisa Aleisa // Procedia Computer Science. – 2013. – Vo. 19. – P. 232–239.
20. Jamal N. Al-Karaki Data Aggregation in Wireless Sensor Networks - Exact and Approximate Algorithms / Jamal N. Al-Karaki, Raza Ul-Mustafa, Ahmed E. Kamal // Proceedings of IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing (HPSR). – Phoenix, Arizona, USA, April 18-21, 2004.
21. Flora Salim Urban computing in the wild: A survey on large scale participation and citizen engagement with ubiquitous computing, cyber physical systems, and Internet of Things / Flora Salim, Usman Haque // International Journal of Human-Computer Studies. – September 2015. – Vol. 81. – P. 31–48.
22. Gao T. Vital signs monitoring and patient tracking over a wireless network / T. Gao, D. Greenspan, M. Welsh, R.J. uang, A. Alm // Proceedings of the 27th IEEE EMBS Annual International Conference, 2005.
23. Google Cloud Platform. BigQuery. A fast, economical and fully managed data warehouse for large-scale data analytics. – Available at: <https://cloud.google.com/bigquery> (accessed: 14.08.2015).
24. Hewwit C. ORGs for Scalable, Robust, Privacy-Friendly Client Cloud Computing / C. Hewwit // IEEE Internet Computing. – September–October 2008. – Vol. 12, no. 5.
25. OASIS. MQTT version 3.1.1. OASIS Standard. October 29 2014. – Available at: <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.pdf> (accessed: 01.08.2015).
26. Hybrid. Open. Secure. IBM Cloud delivers a new way to work. – Available at: <http://www.ibm.com/cloud-computing/us/en/> (accessed: 01.08.2015).
27. Kamaev V. A. Wireless monitoring and control at urban heating supply system / V. A. Kamaev, L. R. Fionova, A. G. Fиногеев, А. А. Fиногеев // International Journal of Applied Engineering Research –

Research India Publications. – 2015. – Vol. 10, № 3. – P. 6499–6507. – Available at: <http://www.ripublication.com/Volume/ijaerv10n3.htm> (accessed: 01.08.2015).

28. Kamaev V. A. Knowledge Discovery in the SCADA Databases Used for the Municipal Power Supply System / V. A. Kamaev, A. G. Finogeev, A. A. Finogeev, S. Shevchenko // Knowledge-Based Software Engineering ; Springer International Publishing Switzerland – 11th Joint Conference, JCKBSE 2014 Proceedings. – Volgograd ; Russia, September 17–20, 2014. – P. 1–15.

29. Melinda Tóth Detecting and Visualising Process Relationships in Erlang / Melinda Tóth, István Bozó // Procedia Computer Science. – 2014. – Vol. 29. – P. 1525–1534.

30. Niroshinie Fernando, Mobile cloud computing: A survey / Niroshinie Fernando, Seng W. Loke, Wenny Rahayu // Future Generation Computer Systems. – January 2013. – Vol. 29, issue 1. – P. 84–106.

31. Samer Samarah A Data Predication Model for Integrating Wireless Sensor Networks and Cloud Computing / Samer Samarah // Procedia Computer Science. – 2015. – Vol. 52. – P. 1141–1146.

32. Toshiba Asia Pacific Pte. Ltd. Toshiba Launches new storage system «Toshiba Total Storage Platform» to meet big data and cloud solutions November 12 2013. – Available at: [http://www.asia.toshiba.com/wp-content/uploads/2013/11/tapl\\_20131112.pdf](http://www.asia.toshiba.com/wp-content/uploads/2013/11/tapl_20131112.pdf) (accessed: 10.08.2015).

33. Wei Liu Adaptive resource discovery in mobile cloud computing / Wei Liu, Takayuki Nishio, Ryoichi Shinkuma, Tatsuro Takahashi // Computer Communications. – September 1, 2014. – Vol. 50. – P. 119–129.

#### References

1. Andrizhievskiy A. A., Volodin V. I. *Energosberezhenie i energeticheskiy menedzhment* [Energy conservation and energy management], 2nd ed. Minsk, Vysshaya shkola Publ., 2005. 294 p.

2. Breyman A. D., Bogoslovskiy Ye. M. *Mnogomernoye khranenie zhurnalov sobytii dlya izvlecheniya i analiza protsessov* [Multidimensional storage of event logs to extract and process analysis]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 2, pp. 127–138.

3. Brumshteyn Yu. M., Zakharov D. A., Dyudikov I. A. *Analiz i upravlenie energobezопасnostyu deyatel'nosti meditsinskih uchrezhdeniy* [Analysis and management of energy security activities of medical institutions]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 1, pp. 44–38.

4. GOST R ISO 50001-2012. Energy Management System. Requirements with guidance for use. Introduced 2012–12–01. Moscow, Standartinform Publ., 2012. 52 p.

5. Lukyanchikov O. I., Nikulchev Ye. V., Payain S. V., Pluzhnik Ye. V. *Proektirovanie raspredelennykh baz dannykh v gibridnoy oblachnoy infra-strukture na osnove obektno-relyatsionnogo otobrazheniya* [Design of distributed databases in a hybrid cloud infra-structure-based object-relational mapping]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 3 (27), pp. 122–132.

6. Kamaev V. A., Finogeev A. G., Nefedova I. S., Finogeev Ye. A. *Instrumentalnye sredstva oblachnogo monitoringa raspredelennykh inzhenernykh setey* [And tools cloud-based monitoring of distributed utility networks]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Aktualnye problemy upravleniya vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh»* [Proceedings of the Volgograd State Technical University. Series "Actual Problems of Management, Computer Science and Informatics in Technical Systems"], 2014, vol. 22, no. 25, pp. 164–176.

7. Kamaev V. A., Kuang Vin Tkhay, Finogeev A. G., Nefedova I. S., Finogeev A. A., Botvinkin P. V. *Skhemy upravleniya klyuchami s ispolzovaniem kadrov marshutnoy informatsii v besprovodnykh sensornykh setyakh SCADA sistem* [Schemes key management using skills marshutkas information in wireless sensor networks SCADA systems]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 3 (27), pp. 197–215.

8. Savkina A. V., Fedosin A. S. *Problemy kachestva dannykh v avtomatizirovannykh sistemakh kommercheskogo ucheta potrebleniya energoresursov* [Problems of data quality in the automated systems of commercial accounting of energy consumption]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 2, pp. 158–164.

9. Fedosin A. S. *Primenenie metodov lineynoy optimizatsii dlya vyravnivaniya ostatkov denezhnykh sredstv na litsevykh schetakh v protsesse osushchestvleniya nachisleniya platy za ZhKU* [The



Application of methods of linear optimization to align the cash balances on the personal accounts in the process of implementing accrual of fees for utility services]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 1, pp. 155–166.

10. Fedoskina L. A., Abramov Ye. I. Terminologicheskie osobennosti energeticheskogo menedzhmenta [Terminological features of energy management]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika* [Economic Analysis: Theory and Practice], 2014, no. 22 (373), pp. 16–22.

11. Finogeev A. G., Nefedova I. S., Finogeev Ye. A., Kuang Vin Tkhay, Kamaev V. A., Shevchenko S. V., Finogeev A. A. Analiz dannykh v sisteme dispetcherizatsii gorodskogo teplosnabzheniya [Analysis of the data in the dispatch system city heating] // Zh. «Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii» [Caspian journal: management and high technologies]. - 2014. - №2 (26). – p. 182-197.

12. Finogeev A. G., Dilman V. B., Finogeev A. A., Maslov V. A. Operativnyy distantsionnyy monitoring v sisteme gorodskogo teplosnabzheniya na osnove besprovodnykh sensornykh setey [Real-time remote monitoring in the urban heating system based on wireless sensor networks]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Volga Region. Technical Science], 2010, no. 3, pp. 27–36.

13. Finogeev A. G., Dilman V. B., Maslov V. A., Finogeev A. A. Sistema udalennogo monitoringa i upravleniya setyami teplosnabzheniya na osnove besprovodnykh sensornykh setey [The remote monitoring system and management of supply networks based on wireless sensor networks]. *Prikladnaya informatika* [Applied Informatics], 2011, no. 3 (33), pp. 83–93.

14. Armbrust M., Fox A., Griffith R., Joseph A., Katz R., Konwinski A., Lee G., Patterson D., Rabkin A., Stoica I. *Above the clouds: A Berkeley view of cloud computing*, Berkeley, EECS Department, University of California Publ. House, 2009. 23 p.

15. Arunkumar G., Neelanarayanan Venkataraman A Novel Approach to Address Interoperability Concern in Cloud Computing. *Procedia Computer Science*, 2015, vol. 50, pp. 554–559.

16. Badger L., Grance T., Patt-Corner R., Voas J. Cloud Computing Synopsis and Recommendations. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. Available at: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-146/sp800-146.pdf> (accessed: 13.08.2015).

17. Cisco and Microsoft Extend Relationship with New Cloud Platform. *The Network*. Available at: <http://newsroom.cisco.com/press-release-content?type=webcontent&articleId=1608152> (accessed: 01.08.2015).

18. Desire Athow Toshiba bets big on Internet-of-Things 29 Jan. 2015 World of tech. *TechRadar.Pro*. Available at: <http://www.techradar.com/news/world-of-tech/toshiba-bets-big-on-internet-of-things-1282446> (accessed: 14.08.2015).

19. Eisa Aleisa Wireless Sensor Networks Framework for Water Resource Management that Supports QoS in the Kingdom of Saudi Arabia Original Research Article. *Procedia Computer Science*, 2013, vol. 19, pp. 232–239.

20. Jamal N. Al-Karaki, Raza Ul-Mustafa, Ahmed E. Kamal Data Aggregation in Wireless Sensor Networks – Exact and Approximate Algorithms. *Proceedings of IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing (HPSR)*, Phoenix, Arizona, USA, April 18–21, 2004.

21. Flora Salim, Usman Haque Urban computing in the wild: A survey on large scale participation and citizen engagement with ubiquitous computing, cyber physical systems, and Internet of Things. *International Journal of Human-Computer Studies*, September 2015, vol. 81, pp. 31-48.

22. Gao T., Greenspan D., Welsh M., Juang R., Alm A. Vital signs monitoring and patient tracking over a wireless network. *Proceedings of the 27th IEEE EMBS Annual International Conference*, 2005.

23. Google Cloud Platform. *BigQuery. A fast, economical and fully managed data warehouse for large-scale data analytics*. Available at: <https://cloud.google.com/bigquery> (accessed: 14.08.2015).

24. Hewitt C. ORGs for Scalable, Robust, Privacy-Friendly Client Cloud Computing. *IEEE Internet Computing*, September–October, 2008, vol. 12, no. 5.

25. *OASIS MQTT version 3.1.1. OASIS Standard. October 29 2014*. Available at: <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.pdf> (accessed: 01.08.2015).

26. *Hybrid. Open. Secure. IBM Cloud delivers a new way to work*. Available at: <http://www.ibm.com/cloud-computing/us/en/> (accessed: 01.08.2015).

27. Kamaev V. A., Fionova L. R., Finogeev A. G., Finogeev A. A. Wireless monitoring and control at urban heating supply system. *International Journal of Applied Engineering Research – Research India*

*Publications*, 2015, no. 3, vol. 10, pp. 6499–6507. Available at: <http://www.ripublication.com/Volume/ijaerv10n3.htm> (accessed: 21.08.2015).

28. Kamaev V. A., Finogeev A. G., Finogeev A. A., Shevchenko S. Knowledge Discovery in the SCADA Databases Used for the Municipal Power Supply System. *Knowledge-Based Software Engineering ; Springer International Publishing Switzerland – 11th Joint Conference, JCKBSE 2014 Proceedings*, Volgograd, Russia, September 17–20, 2014, pp. 1–15.

29. Melinda Tóth, István Bozó Detecting and Visualising Process Relationships in Erlang. *Procedia Computer Science*, 2014, vol. 29, pp. 1525–1534.

30. Niroshinie Fernando, Seng W. Loke, Wenny Rahayu Mobile cloud computing: A survey. *Future Generation Computer Systems*, January 2013, vol. 29, issue 1, pp. 84–106.

31. Samer Samarah A Data Predication Model for Integrating Wireless Sensor Networks and Cloud Computing. *Procedia Computer Science*, 2015, vol. 52, pp. 1141–1146.

32. Toshiba Asia Pacific Pte. Ltd. Toshiba Launches new storage system “Toshiba Total Storage Platform” to meet big data and cloud solutions November 12 2013. Available at: [http://www.asia.toshiba.com/wp-content/uploads/2013/11/tapl\\_20131112.pdf](http://www.asia.toshiba.com/wp-content/uploads/2013/11/tapl_20131112.pdf) (accessed: 10.08.2015).

33. Wei Liu, Takayuki Nishio, Ryoichi Shinkuma, Tatsuro Takahashi Adaptive resource discovery in mobile cloud computing. *Computer Communications*, September 1 2014, vol. 50, pp. 119–129.

**УДК 621.391:519.72**

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ  
ПАРАМЕТРОВ МНОГОПороГОВОГО ДЕКОДЕРА  
САМООРТОГОНАЛЬНЫХ КОДОВ  
МЕТОДОМ ПОКООРДИНАТНОГО СПУСКА**

*Статья поступила в редакцию 14.07.2015, в окончательном варианте 28.08.2015*

**Шевляков Дмитрий Александрович**, аспирант, Рязанский государственный радиотехнический университет, 390005, Российская Федерация, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1, e-mail: [d.a.shevlyakov@gmail.com](mailto:d.a.shevlyakov@gmail.com)

В современных системах связи используют методы помехоустойчивого кодирования / декодирования для исправления возникающих при передаче ошибок. В статье приведено краткое описание одного из таких методов – многопорогового декодера (МПД). Рассмотрены вопросы, связанные с повышением эффективности работы МПД за счет использования многомерной оптимизации параметров рассматриваемого метода. Исходя из того, что оптимизацию необходимо проводить по нескольким группам параметров, был выбран метод покоординатного спуска. Его алгоритм применительно к рассматриваемым задачам детально описан в статье. Показано, что разработанный алгоритм позволяет произвести правильную настройку параметров и при этом для рассматриваемых классов задач сэкономить временные и вычислительные ресурсы на 15 десятичных порядков. Представлены результаты работы МПД с оптимизированными параметрами, которые позволяют сделать вывод о том, что область наилучшей его работы смещается на 0,6 дБ в сторону пропускной способности канала по сравнению с неоптимизированным вариантом. Таким образом, результаты, полученные с помощью данного алгоритма в канале с аддитивным белым гауссовским шумом, дают возможность настроить МПД (без его усложнения) на обеспечение наилучшего результата. Это позволяет рекомендовать МПД к использованию в современных системах связи с целью повышения ее качества и помехоустойчивости.

**Ключевые слова:** цифровая связь, системы передачи цифровой информации, помехоустойчивое кодирование, достоверность передачи данных, энергетический выигрыш кодирования, самоортogonalные коды, многопороговые декодеры, компьютерное моделирование, методы многомерной оптимизации, метод покоординатного спуска