

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ УМНЫХ ГОРОДОВ

Бурий А. С.¹, Ловцов Д. А.²

Ключевые слова: цифровой город, информационные технологии, модель города, многоагентная система, метасистема.

Аннотация.

Цель работы: совершенствование научной и методической базы при разработке концепции умного города в условиях цифровой трансформации.

Методы: системный анализ, концептуально-логическое моделирование, формально-логическая разработка и обоснование структур построения распределенных информационных систем.

Результаты: обоснован концептуальный вариант комплексного «ИКС»-подхода («информационно-кибернетически-синергетического») к анализу и структурной оптимизации системы умного города на основе функционально-логической интеграции разнородных информационных систем городской инфраструктуры; информационное взаимодействие функциональных подсистем умного города представлено как отношения информационных агентов инвариантных подсистем обслуживания, интегрируемых под целевые задачи.

Концептуальный вариант комплексного «ИКС»-подхода можно использовать при структурировании разнородных информационных систем в парадигме цифрового общества.

DOI: 10.21681/1994-1404-2022-2-04-13

Введение

Принято рассматривать цифровую трансформацию как процесс изменения (преобразования) устоявшихся экономических и общественных институтов в связи с внедрением *цифровых технологий* [22]. Основные тенденции цифровой трансформации проявляются во внедрении новых *информационно-коммуникационных технологий* (ИКТ), а также в формировании новых *информационно-аналитических структур* на основе развития систем сбора, переработки и интеллектуального анализа городских данных для поддержки и оптимизации принятия управленческих решений в городских муниципальных службах и различных системах социальной направленности.

Современная городская среда одновременно выступает и как источник, генерирующий масштабные данные, и как потребитель этих данных, требующих

переработки уже в момент их появления. Требование устойчивости и надежности *информационной среды* [11] является актуальным при организации хранения информации в объединенных базах данных и знаний (БДЗ), событийной обработке, машинном обучении и визуализации [19]. *Информационные системы* строятся на основе единых принципов и общих правил организации информационных ресурсов, обеспечения доступа к информации, свойственных для данного *информационного пространства* в определенной предметной области [11, 13].

Благодаря универсальности и многофункциональности современные высокоэффективные ИКТ направлены на масштабные изменения в отраслях производства, секторах управления, социальной сфере, образовании, безопасности и управлении городской средой, обеспечивая в конечном итоге высокий уровень качества и продолжительности жизни человека.

Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» в текущий период (с 2018 по 2024 г.) нацелена на обеспечение экономического ро-

¹ **Бурий Алексей Сергеевич**, доктор технических наук, эксперт Российской академии наук, директор департамента ФГБУ «Российский институт стандартизации», г. Москва, Российская Федерация.
E-mail: a.s.burij@gostinfo.ru

² **Ловцов Дмитрий Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заместитель по научной работе директора Института точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева Российской академии наук, заведующий кафедрой информационного права, информатики и математики Российского государственного университета правосудия, г. Москва, Российская Федерация.
E-mail: dal-1206@mail.ru

ста и включает в себя шесть федеральных проектов: «Нормативное регулирование цифровой среды», «Информационная инфраструктура», «Кадры для цифровой экономики», «Информационная безопасность», «Цифровые технологии» и «Цифровое государственное управление»³.

Интенсивность и разнообразие современной *информационной инфраструктуры* [11] свойственно городам, в которых, по международным оценкам⁴, в 2019 г. проживало 56% населения мира; к 2050 г. в городах будут проживать около двух третей населения (68%), а в Европе и Северной Америке доля жителей городов составит 77%. Эти обстоятельства являются существенными факторами повышения востребованности высокоэффективных ИКТ.

Постановка задачи

Лидеры бизнеса и государственные организации должны начать цифровую трансформацию, чтобы строить умные города и предлагать своим гражданам более высокое качество жизни. Существует множество высоких достижений — факторов, которые способствуют успешному разворачиванию умных городов; это, в частности, *новаторские информационные технологии* (НИТ), такие как блокчейн [14], искусственный интеллект [7, 18, 20], включая высокоорганизованные целенаправленные технические системы различного назначения [23], робототехнику и Интернет вещей [8, 24], сети 5G и 6G, граничные вычисления [8, 19], большие данные [22] и др.

В условиях глобальной урбанизации для обеспечения устойчивого развития общества и стимулирования роста экономики повышается роль современных ИКТ, включая НИТ. Для организации управления крупными мегаполисами представляется целесообразным применение проблемно-ориентированного системного подхода, в частности, комплексного «ИКС»-подхода («информационно-кибернетически-синергетического») [5, 11, 12, 15, 25].

Технологии, объединенные понятием «умный город», весьма разнообразны, постоянно развиваются, охватывая всё новые сферы *информационного пространства* современного города [6, 15, 19]. Например, существующие и перспективные (разрабатываемые) государственные информационные системы (ИС) [3, 4], в том числе в правовой инфраструктуре [13, 15], иерархические эргасистемы подготовки и обоснования принятия решений [7, 12]; технологии программно-целевого управления [9], автоматизированного проектирования на основе машиночитаемых документов [6], управления информационной безопасностью [1], а

также технологии функционирования инфраструктуры социальных сетей [2, 29].

Умный город — это интегрированная социально-экономическая эргасистема, в которой человеческий и социальный капитал взаимодействуют с использованием цифровых технологических решений. Она призвана обеспечить устойчивое развитие города и высокое качество жизни, решение городских проблем на основе партнерства с участием многих заинтересованных сторон и муниципалитетов. Главной целью создания умного города является улучшение качества жизни горожан с помощью технологий городской информатики, оптимизации инфраструктуры для повышения эффективности и спектра общественных услуг⁵.

Предметными целями настоящего исследования являются: определение закономерностей применения *цифровых платформ* в процессе управления мегаполисом, а также разработка *концепции* информационного взаимодействия городских служб как подсистем города, характеризующего сложной организационной и информационной инфраструктурой.

Информационные технологии умного города

Как градостроительная концепция «умный город» — это органичная интеграция интеллектуальных платформ информационных и коммуникационных технологий и систем Интернета вещей для управления городской инфраструктурой: транспортом, образованием, здравоохранением, системами жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), безопасности и др.

Города становятся «умными» не только с точки зрения автоматизации повседневных функций, но и с точки зрения способов, которые позволяют отслеживать, понимать, анализировать и планировать город для улучшения городских показателей в режиме реального времени. Акцент на социальный и человеческий капитал отличает концепцию «умный город» от конкретных технологических концепций, тем самым усиливая многомерную точку зрения на города. Чтобы быть действительно «умными», городские районы должны управлять своим развитием, поддерживая экономическую конкурентоспособность, повышая социальную значимость, экологическую устойчивость и обеспечивая повышение качества жизни своих граждан.

Существует несколько десятков толкований термина «умный город» (от англ. *smart city*). Сначала (в 1993 г.) появилось понятие «умное сообщество» (*Smart Community*) применительно к Кремниевой долине [21]. Чуть позже сложилась концепция «умного сообщества» как сообщества, в котором представители местных органов власти, бизнеса, образования, учреждений здравоохранения и широкой общественности, опираясь на потенциал ИКТ, формируют успешные альянсы для совместной работы по использованию высоких техно-

³ Проект «Умный город». URL: <https://gorodsreda.ru/smartcity> (дата обращения: 21.03.2022).

⁴ Мировые демографические тенденции. Доклад Генерального секретаря ООН. URL: <https://undocs.org/pdf?symbol=ru/E/CN.9/2020/5> (дата обращения: 21.03.2022).

⁵ Умные города // TADVISER. Государство. Бизнес. Технологии. URL: <https://www.tadviser.ru> (дата обращения: 18.03.2022).



Рис. 1. Характеристики умного города

логий для преобразования своего сообщества значительными и позитивными способами⁶.

Базовые характеристики умного города обычно разделяют на четыре группы, причем *интеллектуальность* является основной доминантой всех четырех представленных групп (направлений), обеспечивая переход от изолированных систем к созданию интеллектуальных сред (рис. 1) [29].

Интеллектуальность обеспечивается:

в области управления — за счет совершенствования методов, моделей и технологий управления, нацеленных на удовлетворение потребностей граждан и расширения доступности государственных ИС;

в области экономики — за счет инновационных технологий, когда инновации отражаются в производительности для адаптации к рынку и потребностям людей, что обеспечивается инструментами новых бизнес-моделей.

При этом, в частности (см. рис. 1):

интеллектуальная мобильность нацелена на обеспечение эффективной транспортной сети для людей, товаров и данных за счет комплексирования и координации доступных технологий сбора и предоставления информации пользователям, планировщикам и транспортным менеджерам путем функционально-логической интеграции моделей городской мобильности, механизмов планирования использования и развития и различных видов транспорта и транспортной системы в целом;

интеллектуальная среда использует сбор данных от инженерных сетей, систем постоянного контроля воздуха, качества воды и других городских ресурсов для определения основных направлений деятельности

в области городского планирования, а также для информирования руководителей городских служб и создания эффективной и устойчивой городской среды при одновременном повышении качества жизни граждан.

Умный город нуждается в привлечении граждан, способных разумно участвовать в городской жизни и адаптироваться к новым решениям, обеспечивающим творческий подход, инновации и разнообразие в рамках социосферы, чтобы поступающие инициативы увенчались успехом за счет уровня *образованности* граждан как основного инструмента в формировании интеллектуального общества и творческих профилей (личностей) [28].

Ключевыми характеристиками⁷ концепции «умный город» принято считать следующие:

- «человекоцентричность» — город ориентирован на жителей, бизнес, работников, туристов;
- хорошая управляемость (обеспечение возможности принятия обоснованных управленческих решений на основе получаемой осведомляющей информации);
- доступность и открытость для людей и новых идей;
- открытость данных о своей деятельности в государственных ИС;
- защищённость персональных данных;
- интегрированность служб и инфраструктур;
- проактивность в обучении и развитии граждан и др.

Разрабатываемый проект «умный город» направлен на формирование эффективной системы управления городским хозяйством, создание безопасных и комфортных условий для жизни горожан и повышение конкурентоспособности российских городов. Применяе-

⁶ Lindskog H. Smart communities initiatives. Источник: Proceedings of the 3rd ISOneWorld Conference (Las Vegas, NV, Apr. 14–16). 2004. URL: <http://www.heldag.com/articles/Smart%20communities%20april%202004.pdf> (дата обращения: 22.04.2022).

⁷ «Умный город»: пять технологий концепции smart city. Сайт РБК. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/sharing/5fc625769a79471899ba9ad2> (дата обращения: 18.03.2022).

мый в последнее время индекс IQ (от англ. *intelligence quotient* — коэффициент интеллекта) городов позволяет оценивать эффективность развития цифровых платформ в социотехнической сфере, обращая внимание руководителей на ещё не проработанные направления, и найти точки роста в следующих направлениях жизнедеятельности города: *городская среда* (умное ЖКХ, городской транспорт и мобильность); *цифровое городское управление* (открытое правительство, координация служб и ведомств, эффективные государственные услуги); *безопасный город* (безопасность коммунальной инфраструктуры, транспортная безопасность, системы видеонаблюдения); *благополучие людей* (здоровый образ жизни, социальная политика, культура, образование, туризм); *городские экосистемы* (самонастраивающиеся и самодостаточные системы, направленные как на улучшение качества жизни горожан, так и на сокращение пагубного влияния города на биосферу) [24].

Комплексный «ИКС»-подход и структуры подсистем умного города

Основными понятиями при разработке информационной теории умного города и терминологических баз ИС выступают следующие системологические понятия: *система, структура, состояние, модель, управление, информация, эффективность* и ряд других [4, 12, 15]. Информационное бытие появляется как «*дополнительная форма отчуждения человеческого знания*» и использования его в виде продукта для работы современных ИС⁸.

Информационную инфраструктуру [11] умного города можно представить как *систему* (целостное образование) множества информационных элементов и связей между ними, объединенных функциональными признаками в едином информационном пространстве умного города, обладающую эмерджентными свойствами, не сводящимися к свойствам входящих в это образование элементов. При этом под *структурой* системы понимается способ организации ее элементов или части из них со своими взаимосвязями, формируемыми в соответствии с распределением функций и выполняемых целей в подсистемы, обеспечивая при этом устойчивость и тождественность системы себе самой при различных внутренних и внешних изменениях⁹ [12].

Существует понятие *структурированной системы*, элементы которой могут быть интерпретированы как подсистемы, образуя полную систему, которая выступает как суперсистема этих элементов [12]. Любую си-

стему с поведением в зависимости от контекста можно рассматривать в одном случае как *элемент* структурируемой системы, т. е. как подсистему, а в другом — как полную *систему*. Основываясь на этой двойственности, можно представить любую полную (сложную) систему как иерархию структурированных систем¹⁰.

Наличие фундаментальной связи между когнитивным и социальным аспектами жизни позволяет естественным образом расширить комплексный «ИКС»-подход, добавляя к миру технологий представления образов, символов и отношений между ними еще и критически важные изменения социальной реальности. Это влияет на поведенческие функции социумов, отражающих смысловые особенности деятельности, столь важные для эргасистем [7, 12], формируя целостную структуру умного города, а также требования к информационной [12, 15] и функциональной согласованности его элементов и подсистем [27].

При реализации инициатив устойчивого развития на основе модели умного города важными являются следующие факторы:

- повышения экологического, экономического и социального потенциалов территории, объединяемых технологическими инновациями в области ИКТ, когнитивных подходов, биотехнологий и др.;
- создания новых инструментов для территориального развития, основанных на «ИКС»-подходе, за счет активного развития *цифрового пространства* как составной части информационного пространства, возникающей в функционирующей цифровой среде, базирующейся на цифровой инфраструктуре (телематических системах и сетях, хранилищах данных, БДЗ и др.) [11, 13];
- формирования совокупности виртуальных *цифровых полей*, возникающих на основе функционирования соответствующих *цифровых площадок* (платформ), включающих цифровые средства и технологии государственных ИС [3, 11], общедоступных информационных сервисов, например, облачных, и интернет-коммуникации социальной среды [2].

Основной состав и логическая организация инженерных систем, участвующих в формировании инфраструктуры умного города, включает следующие системы и уровни их функционирования¹¹ (рис. 2):

Информационно-расчетные и аналитические на 5 уровнях иерархии в составе:

- У5** — умные приложения (по подсистемам умного города);
- У4** — уровень поддержки данных и услуг;
- У3** — уровень вычислений и хранения данных;

⁸ Юсупов Р.М., Заболотский В.П. Научно-методические основы информатизации. СПб.: Наука, 2000. С. 35.

⁹ Надо иметь в виду, что в социальной сфере термин «структура» традиционно имеет иной смысл, чем в естественных науках. В социологии это набор правил, регулирующих общественную деятельность, поэтому, например, Ф. Капра [10] предлагает вместо понятий «форма» и «материя» использовать, соответственно, понятия «схема» и «структура».

¹⁰ Goguen J.A., Varela F.J. Systems and distinctions; Duality and complementarity // International Journal of General Systems. 1979. 5:1, pp. 31–43. DOI: 10.1080/03081077908960886

¹¹ ПНСТ 447-2020 (ISO/IEC/DIS 30145-3) Информационные технологии. Умный город. Типовая архитектура ИКТ умного города. Ч. 3. Инженерные системы умного города. (Введ. с 2021-01-01).



Рис. 2. Структура инженерных систем умного города

Y2 — уровень сетевых коммуникаций;

Y1 — уровень получения данных.

Системы *технологического* обеспечения в составе:

А. Система безопасности и защиты конфиденциальности.

Б. Система эксплуатации и технического обслуживания (с поддержкой ИТ-услуг).

В. Система идентификации (всех уровней инженерной структуры).

Г. Система позиционирования (на базе услуг инерциального, интегрированного, оптического и спутникового позиционирования).

Основное функциональное содержание представленных уровней иерархии (см. рис. 2) состоит в следующем:

уровень **Y1** — обеспечивает получение, предварительную обработку и накопление данных от средств контроля окружающей обстановки;

уровень **Y2** — включает сети Интернет, а также теле-, радио-, видео- общедоступные сети и их объединения (конвергенции);

уровень **Y3** — объединяет ресурсы для вычислений, хранения данных и базовое программное обеспечение;

уровень **Y4** — объединяет возможности получения данных, их хранение, вычислительные ресурсы при управлении данными и услугами;

уровень **Y5** — обеспечивает формирование и разработку приложений в рамках отмеченных функциональных подсистем (здравоохранение, образование, транспорт, социальное обслуживание, культура и др.) и их взаимную функционально-логическую интеграцию на базе поддержки нижними уровнями (**Y1** — **Y4**).

Разнородность информационных потоков (по содержанию, структуре, форме и формату представления), связанная с характером источников данных (**Y1**), разнообразием контуров управления и их аппаратно-

программных средств (выделенные подсистемы городской структуры), в которых они используются, требуют обеспечения заданного уровня *качества информации*, характеризующего степень ее соответствия потребностям (целям, ценностям) [5, 11, 12].

При этом *целостность* и *доступность* данных должна обеспечивать в ИКТ умного города поддержку решения следующих частных задач¹²:

обеспечение совместимости основных операционных систем и резервного программного обеспечения;

дублирование средств (ресурсов) распределенного хранения данных во избежание потери данных, реализуя параллельный доступ к информационным ресурсам для различных категорий пользователей;

централизованное резервное копирование данных, включая многосайтовое и облачное резервное копирование;

унификация управления защитой и восстановлением данных, в том числе и в условиях отказов подсистем.

Таким образом, умный город можно представлять *распределенной организационной сетевой структурой* относительно независимых друг от друга децентрализованно взаимодействующих организационных единиц (агентов). Такая структура предполагает объединение ресурсов, распределенных между агентами и их совместное использование.

Комплексный «ИКС»-подход к анализу умного города

Типовую структуру функциональной (целевой и обеспечивающей) подсистемы умного города можно представить многоагентной моделью в составе следующих типов агентов:

¹² Там же (п. 4.10.3).

- ① — агент-наблюдатель (АН);
- ② — агент-координатор (АК);
- ③ — агент обработки данных (АОД);
- ④ — агент-исполнитель (АИ).

АН формирует массивы данных входной информации от объектов наблюдения (систем сенсоров, видеорегистраторов и различных датчиков). АК поддерживает координацию между перечисленными агентами, обеспечивает сетевые коммуникации между функциональными подсистемами, а также поддерживает часть запросов, необходимых для выполнения работ на уровне подсистем, обеспечивая управление агентами (АН, АИ и АОД). АИ организует внешнее управление объектами (закладывает программы управления, информацию для систем отображения и иных сервисных устройств). АОД осуществляют переработку информационных данных, взаимодействие с БДЗ.

Под *агентом* понимается интеллектуальный мета-объект, способный манипулировать другими информационными объектами, формировать собственные программы действий для достижения поставленной цели (согласно принятому в объектно-ориентированном программировании подходу).

Набор базовых свойств агента составляют:

- *автономность* (деятельность без вмешательства человека, включая самоконтроль, самоорганизацию);
- *реактивность* (способность воспринимать состояние среды или информационного пространства);
- *способность к коммуникациям* с другими агентами (социальное поведение) [20];
- *целенаправленная активность* (выбор промежуточных и конечных состояний в качестве стратегии поведения);
- *осведомленность* (постоянные знания о себе, о других агентах, которые не изменяются в процессе функционирования).

Два последних свойства агента относят к «ментальным свойствам» или *интенциональным* понятиям, свойственным сознанию человека, включая желания, намерения, обязательства по отношению к другим агентам [20].

Отдельные функциональные подсистемы умного города можно представлять в виде *инвариантных управляющих контуров* — известных концептуально-логических моделей [12, 15] на основе формально-логического аппарата, обеспечивающего как выработку основных требований к организационному и информационно-техническому обеспечению процессов управления соответствующих подсистем, так и количественную оценку их эффективности и качества.

Процессы взаимодействия элементов структуры умного города можно представить в виде *многоагентной системы* (МАС) как обобщенной концептуально-логической модели:

$$MAS = (A, E, R, St_{ORG}), \quad (1)$$

где $A = \{a\}$ — множество разнотипных агентов; $E = E_I \times \dots \times E_N = \{e_i\}$ — среда (информационное пространство), в которой находится МАС, причем индекс подсистемы обозначается (см. рис. 3) римскими цифрами ($i = I, II, \dots, N$), что позволяет учитывать уникальность информационной среды для каждой подсистемы в структуре умного города; $St_{ORG} = \{st_j\}$, $j = \overline{1, S}$ — множество организационно-информационных структур, причем в общем случае $N \neq S$; R — семейство базовых отношений между агентами, включающее объединение следующих трех типов отношений [20]:

$$R = R_1 \cup R_2 \cup R_3, \quad (2)$$

где $R_1 = \{2 \rightarrow 4; 1 \rightarrow 2; 2 \rightarrow 3; 3 \rightarrow 2\}$ — множество горизонтальных (симметричных) отношений внутри выделенных подсистем; $R_2 = \{2^I - 2^{II} - \dots - 2^N; 3^I - 3^{II} - \dots - 3^N\}$ — множество асимметричных (сетевых) отношений любой направленности между агентами одного типа (например, при запросах информации от различных подсистем, интегрированных под решаемые задачи); R_3 — множество асимметричных отношений между выбранным агентом координатором 2^U (см. рис. 3) и уровнем управления (отношения вида R_3 может выполнять АК любой подсистемы при точечном управлении выбранной подсистемой).

Процессы взаимодействия (*Int*) агентов из множества A можно описать кортежем:

$$Int = \langle A, T, Pr \rangle, \quad (3)$$

где $T = \{A_H, A_H, A_K, A_{OD}\}$ — множество типов агентов, включая агентов наблюдателей, исполнителей, координаторов и обработки данных, соответственно; Pr — сценарии или программы взаимодействия между агентами, причем

$$Pr = (Com, \pi),$$

где *Com* — множество коммуникативных действий между агентами (АК→АИ; АН→АК; АК→АОД и др.); π — протоколы типовых действий (запись информации, копирование данных, передача данных, отображение и др.).

Так, коммуникация АН → АК = (<сбор_сенсорных_данных>; <передача_метаданных>) предполагает формирование пакета изменений и информирование об этом агента-координатора. Собранные данные передаются для переработки в результате коммуникации вида: АН → АОД.

Особенностью представления МАС в виде соотношений (1) — (3) является то, что функциональные подсистемы функционируют независимо друг от друга, выполняя свой объем целевых задач, причем при необходимости АОД могут запрашивать и получать необходимые данные из БДЗ.

Традиционно комплексный «ИКС»-подход для структурированной системы Σ предполагает задание совокупности входов X , выходов Y системы и механизма отображения (преобразования в виде функционала φ) входных данных в выходные (целевые):

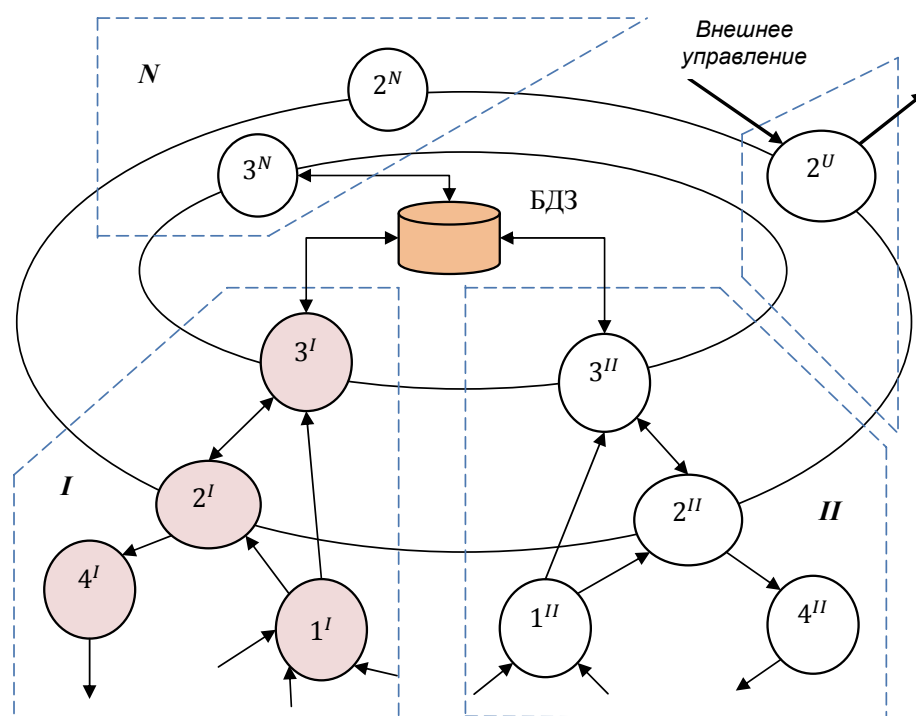


Рис. 3. Структура умного города как система инвариантных контуров обслуживания

$$\Sigma = \varphi: X \rightarrow Y.$$

(4)

Исследователи все чаще сталкиваются с необходимостью представления, например, на модельном уровне, многофакторного взаимодействия экономической, социальной, информационной и технологической сфер общества, образуя новые системные конструкции — организационно-технические, информационно-технологические, социально-экономические и др., характеризующие самостоятельным уровнем принятия решения, координацией и функционально-логической интеграцией, а также устойчивостью управленческих функций, целевым фактором которых является жизнеобеспечение социума [16].

В условиях системного многообразия актуальным становится рассмотрение структуры умного города как некоторой *метасистемы*¹³, объединяющей неоднородные системы, подсистемы и иные организационные образования. Одновременно метасистемы выступают в качестве институционального *конструкта*, расширяющего информационное и правовое пространство за счет формируемого межсистемного тезауруса умного города. Для *структурированной системы* характерно, что все ее элементы вовлечены в информационные (технологические) процессы, а для *метасистемы* — это только функционально нагруженные элементы, т. е. участвующие в данном (ситуационном) информационном процессе.

Операциональность конструктов обеспечивается их экспликацией в математическом аппарате видов

структур в форме n -арной алгебры, поэтому они могут определяться как некоторая метатеория систем в выбранной предметной области, а также играть роль вектора формирования онтологических знаний [17].

Конструкты можно представить в форме БДЗ по определенным классам систем. В логике системных исследований конструкты — это интеллектуальные продукты в виде онтологических универсалий, характеризующихся однотипной структурой (инвариантной структурой) [15], свойственной ряду информационно-управляющих систем, решающих задачи получения (извлечения) и передачи информации [12, 18, 25, 27]. При этом, разрабатывая новые подходы к исследованию эмпирического мира, следует помнить полученный К.Е. Боулдингом вывод¹⁴, что любые попытки построения всеобщей теории (или «теории всего») становятся безуспешными, так как всегда за универсальность («широту») приходится жертвовать конструктивностью («глубиной»).

Применительно к концепции умного города под метасистемой $\tilde{\Sigma}$ можно понимать любое объединение функциональных подсистем города, взаимодействующих в процессе целевого использования:

$$\tilde{\Sigma}^k: \bigcup_{i=1}^k \Sigma_i,$$

где k — любая комбинация подсистем Σ_i , участвующих в конкретной задаче; величина k определяется числом возможных вариантов совместного применения подсистем.

¹³ Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. М.: Радио и связь, 1990. 544 с.

¹⁴ Boulding K. E. General systems theory – the skeleton of science // Management Science. 1956. Vol. 2. No. 3, pp. 197–208.

Метасистемы вводятся для описания изменений при заданном параметрическом множестве тех характеристик, которые определяются как инвариантные, и обеспечиваются динамикой взаимодействия информационных агентов независимо от интегрируемых подсистем в ходе целевого использования.

Заключение

Концептуально-логическое моделирование и структурное проектирование являются важной частью системных исследований и позволяют с единых позиций исследовать роль связей, включая отношения между эле-

ментами структуры, относительно информационных, технологических или технических структур, интегрируемых в проекте (концепции) умного города систем (здравоохранение, образование, транспорт, городские услуги и др.).

Существующие тенденции в области структурной и цифровой трансформации направлены на формирование современного города как единой цифровой платформы, обеспечивающей обмен данными между информационными системами различного уровня, на переход к интеллектуальному обществу на основе замены городских учреждений и сооружений системами с искусственным интеллектом (роботами, интеллектуальными агентами и др.).

Рецензент: **Сухов Андрей Владимирович**, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник научно-производственного объединения «Специальная техника и связь», г. Москва, Российская Федерация.

E-mail: avs57@mail.ru

Литература

1. Бородакий Ю.В., Добродеев А.Ю., Нащекин П.А., Бутусов И.В. О подходах к реализации централизованной системы управления информационной безопасностью АСУ военного и специального назначения // Вопросы кибербезопасности. 2014. № 2(3). С. 2—9.
2. Бурый А.С. Информационное пространство сетевого взаимодействия в клиентской среде // Транспортное дело России. 2011. № 8. С. 156—157.
3. 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
4. Бурый А.С. Лингвистические аспекты формирования терминологической базы информационных систем // Правовая информатика. 2021. № 4. С. 46—56. DOI: 10.21681/1994-1404-2021-4-46-56
5. Бурый А.С., Морин Е.В. Модельно-алгоритмические структуры оценки качества программных изделий. М. : Горячая линия — Телеком, 2019. 160 с. ISBN: 978-5-9912-0815-4.
6. Бурый А.С., Слепынцева Л.И. Цифровизация контента документов по стандартизации. Часть 1. Состояние и современные тенденции // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2021. № 1(59). С. 105—113.
7. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Интеллектуализация процессов принятия решений в эргатических системах // Транспортное дело России. 2015. № 4. С. 48—50.
8. Вишняков В.А., Шайя Б.Х., Аль-Масри А.Х., Аль-Хаджи С.Х. Структура, сетевые протоколы сети Интернета вещей для контроля качества продукции // Сибирский журнал науки и технологий. 2020. Т. 21. № 4. С. 478—482. DOI: 10.31772/2587-6066-2020-21-4-478-482
9. Зубарев В.В., Ириков В.А., Коргин Н.А. Комплексный подход к построению систем управления инновационным развитием региона: проблемы и пути решения // Проблемы управления. 2012. № 1. С. 26—32.
10. Капра Ф., Луизи П.Л. Системный взгляд на жизнь: Целостное представление. М. : УРСС: ЛЕНАНД, 2020. 504 с. ISBN: 978-5-9710-7124-2.
11. Ловцов Д.А. Теория защищенности информации в эргасистемах : монография. М. : РГУП, 2021. 276 с. ISBN 978-5-93916-896-0.
12. Ловцов Д.А. Информационная теория эргасистем : монография. М. : РГУП, 2020. 314 с. ISBN: 978-5-93916-887-8.
13. 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
14. Ловцов Д.А. Информационная безопасность автоматизированных блокчейн систем: угрозы и способы повышения // Тр. II Междунар. науч.-практ. конф. «Трансформация национальной социально-экономической системы России» (22 ноября 2019 г.) / РГУП. М. : РГУП, 2020. С. 464—473. ISBN: 978-5-93916-823-6.
15. Ловцов Д.А. Современная концепция комплексного «ИКС»-подхода к анализу и оптимизации правовых эргасистем // Правосудие/Justice. 2020. Т. 2. № 1. С. 59—81. DOI: 10.37399/issn2686-9241.2020.1.59-81
16. Манохина Н.В. Метасистема как объект институционального анализа // Вестник Международного института экономики и права. 2014. № 1(14). С. 7—16.
17. Никаноров С.П. Теоретико-системные конструкты для концептуального анализа и проектирования. М. : Концепт, 2006. 312 с.
18. Ржевский Г., Кожевников С.С., Свитек М. Умный город как сложная адаптивная система // Онтология проектирования. 2020. Т. 10. № 1(35). С. 7—21. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-7-21

19. Сибел Т. Цифровая трансформация. Как выжить и преуспеть в новую эпоху. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2021. 256 с.
20. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М. : Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.
21. Федоненко М.В. Опыт развития «умных» городов в современном мире // Социально-экономические явления и процессы. 2019. Т. 14. № 2(106). С. 61—72. DOI: 10.20310/1819-8813-2019-14-2(106)-61-72
22. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты : сб. докл. к XXII Апр. Междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества (13—30 апреля 2021 г.) / ВШЭ. М. : Изд. дом «ВШЭ», 2021, 239 с. ISBN: 978-5-7598-2270-7.
23. Чечкин А.В. Элементы искусственного интеллекта умных систем // Правовая информатика. 2022. № 1. С. 15—23. DOI: 10.21681/1994-1404-2022-1-15-23
24. Bokolo A.Jnr. Managing digital transformation of smart cities through enterprise architecture – a review and research agenda. Enterprise Information Systems, 2021, vol. 15, No. 3, p. 299–331. DOI: 10.1080/17517575.2020.1812006
25. Buryi A.S. Structure complexity of distributed information-control systems // Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Teoriya i Sistemy Upravleniya. 1994. No. 5. P. 160—167.
26. Irungbam R.S. The Model of Smart City in Theory and in Practice. Journal for Studies in Management and Planning, 2016, No. 2(4), p. 156–187.
27. Lom M., Pribyl O. Smart City Model Based on Systems Theory. International Journal of Information Management, vol. 56, Feb. 2021, Art. no. 102092. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2020.102092
28. Silva B.N., Khan M., Han K. Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. Sustainable Cities and Society, 2018, vol. 38, p. 697–713. DOI: 10.1016/J.SCS.2018.01.053
29. Tomićić-Pupek, K., Pihir I., Tomićić Furjan M. Smart City Initiatives in the Context of Digital Transformation – Scope, Services and Technologies. Management (Croatia), 2019, vol. 24, No. 1, p. 39–54. DOI: 10.30924/mjcmi.24.1.3.

INFORMATION TECHNOLOGIES FOR DIGITAL TRANSFORMATION OF SMART CITIES

Aleksei Buryi¹⁵, Dmitrii Lovtsov¹⁶

Keywords: digital city, information technologies, city model, multi-agent system, metasystem.

Abstract.

Purpose of the work: improving the research and methodological base for the development of the concept of smart city under the conditions of digital transformation.

Methods used: system analysis, conceptual logical modeling, formal logical development and justification of structures for building distributed information systems.

Results obtained: a justification is given for a conceptual variant of the multi-faceted ICS approach (“information, cybernetics and synergetics”) to analysing and structure optimization of a smart city system based on functional and logical integration of heterogeneous information systems for urban infrastructure. Information interaction of the functional subsystems of a smart city is presented as relations of information agents of invariant service subsystems integrated for implementing target tasks.

The conceptual variant of the multi-faceted ICS approach can be used in structuring heterogeneous information systems in the digital society paradigm.

References

1. Borodakii Iu.V., Dobrodeev A.Iu., Nashchekin P.A., Butusov I.V. O podkhodakh k realizatsii tsentralizovannoi sistemy upravleniia informatsionnoi bezopasnost'iu ASU voennogo i spetsial'nogo naznacheniia. Voprosy kiberbezopasnosti, 2014, No. 2(3), pp. 2–9.

¹⁵ Aleksei Buryi, Dr.Sc. (Technology), expert at the Russian Academy of Sciences, Department Director at the Russian Standardisation Institute, Moscow, Russian Federation.

E-mail: a.s.burij@gostinfo.ru

¹⁶ Dmitrii Lovtsov, Dr.Sc. (Technology), Professor, Honoured Scientist of the Russian Federation, Deputy Director for Research of the Lebedev Institute of Precision Mechanics and Computer Engineering of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Information Technology Law, Informatics and Mathematics of the Russian State University of Justice, Moscow, Russian Federation.

E-mail: dal-1206@mail.ru

2. Buryi A.S. Informatsionnoe prostranstvo setevogo vzaimodeistviia v klientskoi srede. *Transportnoe delo Rossii*, 2011, No. 8, pp. 156–157.
3. 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
4. Buryi A.S. Lingvisticheskie aspekty formirovaniia terminologicheskoi bazy informatsionnykh sistem. *Pravovaia informatika*, 2021, No. 4, pp. 46–56. DOI: 10.21681/1994-1404-2021-4-46-56
5. Buryi A.S., Morin E.V. Model'no-algoritmicheskie struktury otsenki kachestva programmnykh izdelii. M. : Goriachaia liniia – Telekom, 2019. 160 pp. ISBN: 978-5-9912-0815-4.
6. Buryi A.S., Slepnytseva L.I. Tsifrovizatsiia kontenta dokumentov po standartizatsii. Chast' 1. Sostoianie i sovremennye tendentsii. *Informatsionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniia*, 2021, No. 1(59), pp. 105–113.
7. Buryi A.S., Shevkunov M.A. Intellectualizatsiia protsessov priniatiia reshenii v ergaticheskikh sistemakh. *Transportnoe delo Rossii*, 2015, No. 4, pp. 48–50.
8. Vishniakov V.A., Shaiia B.Kh., Al'-Masri A.Kh., Al'-Khadzhi S.Kh. Struktura, setevye protokoly seti Interneta veshchei dlia kontroliia kachestva produktsii. *Sibirskii zhurnal nauki i tekhnologii*, 2020, t. 21, No. 4, pp. 478–482. DOI: 10.31772/2587-6066-2020-21-4-478-482
9. Zubarev V.V., Irikov V.A., Korgin N.A. Kompleksnyi podkhod k postroeniiu sistem upravleniia innovatsionnym razvitiem regiona: problemy i puti resheniia. *Problemy upravleniia*, 2012, No. 1, pp. 26–32.
10. Kapra F., Luizi P.L. Sistemnyi vzgliad na zhizn': Tselostnoe predstavlenie. M. : URSS: LENAND, 2020. 504 pp. ISBN: 978-5-9710-7124-2.
11. Lovtsov D.A. Teoriia zashchishchennosti informatsii v ergasistemakh : monografiia. M. : RGUP, 2021. 276 pp. ISBN 978-5-93916-896-0.
12. Lovtsov D.A. Informatsionnaia teoriia ergasistem : monografiia. M. : RGUP, 2020. 314 pp. ISBN: 978-5-93916-887-8.
13. 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
14. Lovtsov D.A. Informatsionnaia bezopasnost' avtomatizirovannykh blokchein sistem: ugrozy i sposoby povysheniia. Tr. II Mezhdunar. nauch.-prak. konf. "Transformatsiia natsional'noi sotsial'no-ekonomicheskoi sistemy Rossii" (22 noiabria 2019 g.). RGUP. M. : RGUP, 2020, pp. 464–473. ISBN: 978-5-93916-823-6.
15. Lovtsov D.A. Sovremennaia kontseptsiiia kompleksnogo "IKS"-podkhoda k analizu i optimizatsii pravovykh ergasistem. *Pravosudie/Justice*, 2020, t. 2, No. 1, pp. 59–81. DOI: 10.37399/issn2686-9241.2020.1.59-81
16. Manokhina N.V. Metasistema kak ob'ekt institutsional'nogo analiza. *Vestnik Mezhdunarodnogo instituta ekonomiki i prava*, 2014, No. 1(14), pp. 7–16.
17. Nikanorov S.P. Teoretiko-sistemnye konstrukty dlia kontseptual'nogo analiza i proektirovaniia. M. : Kontsept, 2006. 312 pp.
18. Rzhetskii G., Kozhevnikov S.S., Svitek M. Umnyi gorod kak slozhnaia adaptivnaia sistema. *Ontologiiia proektirovaniia*, 2020, t. 10, No. 1(35), pp. 7–21. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-7-21
19. Sibel T. Tsifrovaia transformatsiia. Kak vyzhit' i preuspet' v novuiu epokhu. M. : Mann, Ivanov i Ferber, 2021. 256 pp.
20. Tarasov V.B. Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual'nym organizatsiiam: filosofiiia, psikhologiiia, informatika. M. : Editorial URSS, 2002. 352 pp.
21. Fedonenko M.V. Opyt razvitiia "umnykh" gorodov v sovremennom mire. *Sotsial'no-ekonomicheskie iavleniia i protsessy*, 2019, t. 14, No. 2(106), pp. 61–72. DOI: 10.20310/1819-8813-2019-14-2(106)-61-72
22. Tsifrovaia transformatsiia otraslei: startovye usloviia i priority : sb. dokl. k XXII Apr. Mezhdunar. nauch. konf. po problemam razvitiia ekonomiki i obshchestva (13–30 apreliia 2021 g.). VShE. M. : Izd. dom "VShE", 2021, 239 pp. ISBN: 978-5-7598-2270-7.
23. Chechkin A.V. Elementy iskusstvennogo intelekta umnykh sistem. *Pravovaia informatika*, 2022, No. 1, pp. 15–23. DOI: 10.21681/1994-1404-2022-1-15-23
24. Bokolo A.Jnr. Managing digital transformation of smart cities through enterprise architecture – a review and research agenda. *Enterprise Information Systems*, 2021, vol. 15, No. 3, p. 299–331. DOI: 10.1080/17517575.2020.1812006
25. Buryi A.S. Structure complexity of distributed information-control systems. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Teoriia i Sistemy Upravleniia*, 1994, No. 5, p. 160–167.
26. Irungbam R.S. The Model of Smart City in Theory and in Practice. *Journal for Studies in Management and Planning*, 2016, No. 2(4), p. 156–187.
27. Lom M., Pribyl O. Smart City Model Based on Systems Theory. *International Journal of Information Management*, vol. 56, Feb. 2021, Art. no. 102092. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2020.102092
28. Silva B.N., Khan M., Han K. Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 2018, vol. 38, p. 697–713. DOI: 10.1016/J.SCS.2018.01.053
29. Tomićić-Pupek, K., Pihir I., Tomićić Furjan M. Smart City Initiatives in the Context of Digital Transformation – Scope, Services and Technologies. *Management (Croatia)*, 2019, vol. 24, No. 1, p. 39–54. DOI: 10.30924/mjcmi.24.1.3.