УДК 004.338.49

© 2021 г. **В.В. Стригунов**, канд. физ.-мат. наук
(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

ПОСТРОЕНИЕ ИКТ-АРХИТЕКТУРЫ УМНОГО ГОРОДА

В статье рассмотрена роль информационно-коммуникационных технологий в становлении и развитии умных городов, показана важность поддержки согласованности и функциональной совместимости устройств и сервисов умного города через ИКТ-архитектуру. На основе проведенного обзора различных архитектур предложена версия многоуровневой ИКТ-архитектуры умного города, которая детально и системно описывает связь и взаимодействие отдельных элементов цифровой инфраструктуры города, а также воздействие на них технических и нормативно-правовых требований.

Ключевые слова: умный город, информационно-коммуникационные технологии, ИКТ-архитектура, инфраструктура города, данные, приложения.

DOI: 10.22250/isu.2021.68.98-108

Введение

За последние десятилетия в городах всего мира произошли значительные перемены, поставившие перед правительствами стран и органами местного самоуправления новые задачи. Основные причины этих перемен связаны, с одной стороны, с возросшим давлением на города, моральным и техническим устареванием их инженерной инфраструктуры, нагрузкой на существующую транспортную инфраструктуру, усилением давления на природные ресурсы, ростом объемов отходов и загрязнением окружающей среды, а с другой, – бурным развитием информационно-коммуникационных технологий, появлением новых технологических решений и инновационных разработок.

В связи с указанными изменениями появилась необходимость выбора новой модели управления городами, максимально эффективно расходующей природные ресурсы, обеспечивающей высокий уровень жизни горожан, их

безопасность, способствующей внедрению технологичных и инновационных решений. Такой успешно зарекомендовавшей себя моделью стала стратегия построения умных городов (англ. smart city).

Несмотря на то, что модель умного города используется в мире уже более двадцати лет, общепринятого стандартизованного определения так и не выработано [1, 2]. Исследователи и эксперты сходятся во мнении, что концепция умного города в значительной степени задумывалась как новый подход с использованием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) для устойчивого городского развития. Согласно определению Оперативной группы по умным устойчивым городам Организации Объединенных Наций 2015 г.: «Умный устойчивый город – это инновационный город, использующий информационно-коммуникационные технологии и другие средства для повышения уровня жизни, эффективности деятельности и услуг в городах, а также конкурентоспособности при обеспечении удовлетворения потребностей настоящего и будущих поколений в экономических, социальных, культурных и природоохранных аспектах» [3].

В исследовании С. Кондепуди и Р. Кондепуди [2] на основе более 100 собранных определений умного города были выделены восемь категорий, лучше всего характеризующих умный город. При этом категория «ИКТ / Связь / Информация» встречается в исследованных определениях наиболее часто (в скобках указан процент упоминаний):

1. ИКТ / Связь / Информация (26%).
2. Инфраструктура и услуги (18%).
3. Окружающая среда / Устойчивое развитие (16%).
4. Люди / Граждане / Общество (11%).
5. Управление / Администрация (9%).
6. Экономика / Ресурсы (8%).
7. Качество жизни / Образ жизни (7%).
8. Мобильность (5%).

Многочисленными организациями, научными и экспертными сообществами разрабатываются различные наборы (схемы) показателей и индикаторов для оценки эффективности и прогресса в развитии умных городов. Детальный анализ 34 международных схем оценивания, проведенный А. Шарифи [4, 5], показал, что только несколько групп индикаторов постоянно используются в более чем 60% отобранных схем. В основном это показатели, относящиеся к развертыванию ИКТ-инфраструктуры в городе, ИКТ-сервисам и приложениям. Например, показатели, касающиеся доступности информационных технологий/цифровой инфраструктуры и электронного

управления, были включены в 73% схем оценивания умных городов. Кроме этого, некоторые схемы, такие как индекс Бойда – Козна [5], показатели ITU KPFs [6] или российский Индекс уровня цифровой трансформации городского хозяйства (IQ городов) [7], целиком строятся на показателях информационно-коммуникационных технологий.

Таким образом, информационно-коммуникационным технологиям отводится важная, а порой первостепенная роль в решении существующих проблем городов, в развитии и становлении их как умных городов. Однако города являются сложными социально-техническими системами. Построение и развитие ИКТ-инфраструктуры умного города не ограничивается только решениями администрации муниципального образования – в таком построении участвуют и иные заинтересованные лица, которые, как например IT-бизнес или сотовые операторы, могут развивать собственные решения, мотивированные экономической выгодой. Согласованность большого количества разнородных устройств и сервисов умного города, как существующих, так и будущих, их функциональная совместимость также становятся важной задачей для воспроизводимости сервисов и их массового развертывания.

Место информационно-коммуникационных технологий в инфраструктуре умного города

Умные города все чаще соединяют инфраструктуру ИКТ, физическую, социальную и экономическую инфраструктуры, чтобы использовать свой «коллективный интеллект» для достижения большей устойчивости, эффективности, функциональности, справедливости и пригодности для жизни [8]. Для объединения и совместного использования инфраструктур, а также для успешного развития, модернизации и эксплуатации, внедряемых в умном городе ИКТ-решений используются различные подходы.

Согласно Британскому институту стандартов «BSI PD 8101:2014 – Smart cities. Guide to the role of the planning and development process» («Умные города. Руководство к оценке роли планирования и развития») цифровому обеспечению умного города отводится роль связующего звена (рис. 1) между «жесткой» (здания, городские пространства, дороги, коммуникационные сети, коммунальная инфраструктура и др.) и «мягкой» (люди, сообщества, знания) инфраструктурой города [9]. В силу известности института многие его разработки переходят на уровень международных стандартов или принимаются другими странами в качестве основы для национальных стандартов.

Применение данного подхода в градостроительной концепции позволяет улучшить и поддерживать планирование, проектирование и управление городской средой, создание комфортных общественных пространств.

Рис. 1. Городское планирование умных городов стандарта BSI PD 8101:2014.

Структуру умного города, которая описывает его организацию, отношения между компонентами и городскими составляющими и объектами, как правило, называют архитектурой умного города. Архитектуры строятся с разной степенью детализации: от общей архитектуры (метаархитектура) до более детальных, например архитектура управления данными. Мировые и российская практики показывают, что всякая архитектура умного города является многоуровневой. В работе [8] предложена многоуровневая архитектура умного устойчивого города. Автор отмечает, что многоуровневый подход к этой архитектуре мотивирован научной литературой по умным городам, устойчивым городам и умным устойчивым городам.

Британский стандарт «BSI PAS 181:2014 – Smart city framework. Guide to establishing strategies for smart cities and communities» («Умная городская структура. Руководство по установлению стратегий умных городов и сообществ») предлагает интегрированную модель умного города, состоящую из пяти уровней [10]:

- технологии и инфраструктура;
- данные;
- интегрированное общегородское управление;
- сервисы;
- потребители (доставка до потребителя).

Сообществом The City Protocol была предложена детальная многоуровневая архитектура города (рис. 2), названная анатомией умного города [11, 12]. Согласно этой архитектуре город состоит из трех ключевых уровней: уровень физической структуры, уровень общества и средний между ни-

ми уровень, включающий в себя весь поток взаимодействия. Перечисленные уровни в свою очередь содержат слои более низкого уровня. Физическая структура состоит из окружающей среды, обеспечивающей инфраструктуры города, области (строительной единицы), на которую распространяется деятельность (одиночный объект, дом, жилой комплекс, район, город и т. д.). Уровень взаимодействия включает различные функции и сферы деятельности, информационные потоки и платформы, данные и приложения. Уровень общества состоит из горожан различных социальных групп. Данная модель была взята за основу для реализации инициативы Barcelona Smart City – городом Барселона (Испания).

Рис. 2. Анатомия умного города The City Protocol.

Российские практики также придерживаются многоуровневого подхода. В концепции построения умного региона на территории Свердловской области [13] приведена четырехуровневая модель единого пространства сервисов и данных региона, состоящая из уровней инфраструктуры, информационных систем, сервисов и пользователей. В концепции стратегии развития «Москва. Умный город – 2030» предлагается использовать четырехуровневую архитектуру умного города [14], включающую уровень цифровой инфраструктуры, данных, услуг, потребителей и интерфейсов.

В отчете Международного союза электросвязи (МСЭ) «ITU-T's Technical Reports and Specifications. Shaping smarter and more sustainable cities. Striving for sustainable development goals» («Технические отчеты и спецификации МСЭ-Т. При формировании более умных и устойчивых городов») [11] внимание уделено ИКТ-архитектурам умных устойчивых городов, рассматриваемых с различных точек зрения – общая метаархитектура, архитектура с точки зрения разработки программного обеспечения, архитектура с точки зрения коммуникаций и потоков данных. Согласно метаархитектуре умного устойчивого города можно выделить 5 слоев.

1. Природная среда – природные особенности, которые характерны для расположения города (ландшафт, реки, леса и т. д.).

2. Жесткая инфраструктура не на основе ИКТ (англ. hard infrastructure non ICT-based) включает все городские элементы физической инфраструктуры (здания и сооружения, дорожно-транспортная, энергетическая, коммунальная инфраструктуры и т. д.).

3. Жесткая инфраструктура на основе ИКТ (англ. hard infrastructure ICT-based) включает все смарт-аппаратные средства (телекоммуникационные сети, датчики, системы видеонаблюдения, IoT, центры хранения и обработки данных и т. д.).

4. Услуги – все сервисы, которые предлагаются через аппаратную и программную инфраструктуру (интеллектуальные транспортные системы, электронное правительство, интеллектуальные системы безопасности и т. д.).

5. Мягкая инфраструктура (англ. soft infrastructure) – отдельные лица и группы людей, а также приложения, базы данных, программное обеспечение и данные, с помощью которых реализуются услуги умного города.

В данной архитектуре непосредственно к ИКТ относятся слои 3 и 4, а слой 5 касается в части программного обеспечения и данных.

Как видно, различные архитектуры умных городов строятся на основе многоуровневого подхода, а информационно-коммуникационные технологии в инфраструктуре таких городов занимают место между природной/физической средой и мягкой инфраструктурой городов, сосредоточены на их интеграции и предоставлении горожанам всего спектра цифровых услуг и сервисов.

Многоуровневая ИКТ-архитектура умного города

В умных городах внедрению и эксплуатации подлежат решения в различных областях городского хозяйства, – например, интеллектуальные транспортные системы, умное водопользование, умная энергетика, умное

управление отходами, цифровой двойник города, системы общественной безопасности, электронное правительство и многие другие. Все внедряемые системы и платформы должны быть согласованы между собой, должен быть определен порядок их взаимодействия, форматы обмена данными и то, как они влияют на работу друг друга, должно быть предупреждено дублирование функций.

Для решения указанных задач была построена ИКТ-архитектура умного города, которая детально и системно описывает связь отдельных элементов цифровой инфраструктуры города, взаимодействие цифровой инфраструктуры с физической средой и пользователями, а также воздействие на ИКТ технических и нормативно-правовых требований. За основу была взята архитектура, предложенная в [11], примеры и принципы построения, описанные в предыдущем разделе. Предлагаемая версия многоуровневой ИКТ-архитектуры умного города представлена на рис. 3. Рассмотрим ее более подробно.

Как и в описанном выше случае нижним слоем общей архитектуры умного города является **природная среда**. Данный уровень включает в себя все природные особенности, которые характерны для города (географическое расположение, ландшафт, реки, природные и озелененные территории, качество атмосферного воздуха и т. д.), и обосновывает выбор решений в организации физической и цифровой инфраструктуры города, обеспечения гидрометеорологической безопасности.

Физическая инфраструктура. Данный уровень включает в себя все не относящиеся к ИКТ городские инфраструктурные объекты и сооружения (дорожно-транспортная, энергетическая, коммунальная инфраструктуры, здания и сооружения и т.д.).

Следующие уровни образуют ИКТ-контур архитектуры умного города.

Уровень считывания данных состоит из конечных узлов считывания и капиллярной сети. Конечные узлы считывания – такие как сенсоры, датчики, измерительные приборы, камеры видеонаблюдения, Глонасс/GPS-трекеры, QR-считыватели, RFID-считыватели и др. – предназначены для сбора различных данных о физической среде и инфраструктуре города в реальном времени. Капиллярные сети используют технологии беспроводного доступа (часто малого радиуса действия) для обеспечения локального подключения групп устройств. Например, капиллярная сеть может соединять группу датчиков для мониторинга и контроля объектов инфраструктуры. Обмен данными и взаимодействие между уровнем считывания данных и следующим сетевым уровнем происходят либо напрямую (через сетевые

шлюзы) от конечных узлов считывания, либо через капиллярные сети, которые собирают считанные данные и подключаются к телекоммуникационным сетям.

Рис. 3. Многоуровневая ИКТ-архитектура умного города.

Сетевой уровень включает различные сетевые технологии передачи данных и телекоммуникационные сети, предоставляемые операторами связи и провайдерами, а также корпоративные сети заинтересованных сторон (администрация города, муниципальные предприятия, учреждения и др.).

Уровень данных и поддержки приложений включает городские цен-

тры обработки данных, а также иные центры обработки и хранилища данных предприятий, организаций, научных центров, реализующих отдельные технологии и услуги умного города. Кроме того, уровень может включать облачные сервисы и сервисы, созданные для реализации обработки данных и поддержки приложений следующего уровня архитектуры. В настоящее время города переживают ускоренную датафикацию, что проявляется в расширении объема, диапазона, разнообразия и детализации генерируемых данных о городской среде и горожанах [8].

Уровень приложений включает различные информационные системы, приложения, электронные услуги и смарт-сервисы, которые предназначены для управления умным городом органами исполнительной власти, муниципальными предприятиями и учреждениями, а также предоставления цифровых услуг всем категориям потребителей (жители, туристы, бизнес, научное сообщество и др.).

Два последних рассмотренных уровня дают возможность интегрировать данные на цифровых платформах, предоставляя общий доступ различным городским службам, а также доступ к обработке полученной информации с помощью сервисов продвинутой аналитики, моделирования, оптимизации и визуализации с целью принятия наилучших управленческих решений.

Все функции по эксплуатации, администрированию, обслуживанию, поддержке и обеспечению информационной безопасности систем умного города выполняются на каждом из указанных уровней ИКТ-контура архитектуры.

Уровень потребителей. На данном уровне представлены жители и гости города, бизнес, научное сообщество, органы исполнительной власти и другие заинтересованные стороны, их оценка и контроль качества предоставляемых цифровых услуг, запросы ко всей экосистеме умного города, а также участие в управлении городом.

На рис. 3 в кружках показаны интерфейсы связи и обмена информацией (потoki данных, потоки управления) между уровнями. Точка интерфейса 1 существует между физической инфраструктурой города и уровнем считывания данных, включает способы восприятия физического мира датчиками и сенсорами. Точки 2–6 представляют собой аппаратные и/или программные интерфейсы, а точка 7 – человеко-машинные интерфейсы взаимодействия между уровнем приложений/сервисов и пользователями.

На весь ИКТ-контур архитектуры умного города воздействуют устанавливаемые технические спецификации (количество конечных пользовате-

лей услуги, объем сгенерированных данных, количество устройств IoT, чувствительность к временным задержкам и др.) и нормативно-правовые ограничения. Примерами нормативно-правовых требований и ограничений могут служить [15]: законный перехват данных (во многих странах национальное законодательство требует возможность перехвата их трафика), защита личных данных, смена оператора (переносимость номера, возможность смены оператора IoT), функциональная совместимость и открытый доступ к данным и услугам и др. Как отмечается в [15], отсутствие нормативно-правовой базы умного города является одним из основных препятствий для более широкого внедрения услуг умного города на практике.

Заключение

Умный город является сложной комплексной системой, для которой характерна определенная структура и организация. Решающая роль в формировании и совершенствовании умных городов принадлежит информационно-коммуникационным технологиям. Успех внедрения и эксплуатации в городе цифровых решений в первую очередь зависит от понимания общей структуры, согласованности и взаимодействия множества различных устройств и технологий. Здесь на помощь может прийти предложенная в статье ИКТ-архитектура умного города, которая детально и системно описывает связь и взаимодействие отдельных элементов его цифровой инфраструктуры. Рассмотренная архитектура может быть дополнена новыми идеями, реализована на практике, протестирована и оценена в эмпирических исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Angelidou M.* Smart city policies: a spatial approach // *Cities*. – 2014. – Vol. 41, № 1. – P. S3-S11.
2. *Kondepudi S., Kondepudi R.* What Constitutes a Smart City? // *Smart Cities and Smart Spaces: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*. Hershey: IGI Global. – 2019. – Vol. 1. – P. 1-29.
3. Показатели «умных» устойчивых городов, разработанные ЕЭК ООН-МСЭ. Записка секретариата // Семьдесят шестая сессия (Женева, 14-15 декабря 2015 года). – Женева: Комитет по жилищному хозяйству и землепользованию ЕЭК ООН, 2015. – URL: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/documents/2015/ECE_HBP_2015_4.ru.pdf (дата обращения: 15.01.2021).
4. *Sharifi A.* A critical review of selected smart city assessment tools and indicator sets // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – Vol. 233. – P. 1269-1283.
5. *Sharifi A.* A typology of smart city assessment tools and indicator sets // *Sustainable Cities and Society*. – 2020. – Vol. 53, Article 101936. – P. 1-15.

6. *Stratigea A., Leka A., Panagiotopoulou M.* In Search of Indicators for Assessing Smart and Sustainable Cities and Communities' Performance // International Journal of E-Planning Research. – 2017. – Vol. 6(1). – P. 43-64.
7. Приказ Минстроя России № 924/пр от 31.12.2019 г. «Об утверждении методики оценки хода и эффективности цифровой трансформации городского хозяйства в Российской Федерации (IQ городов)».
8. *Bibri S.E.* The anatomy of the data-driven smart sustainable city: instrumentation, datafication, computerization and related applications // Journal of Big Data. – 2019. – Vol. 6, Article 59. – P. 1-43.
9. BSI Standards Publication. PD 8101-2014. Smart cities. Guide to the role of the planning and development process / The British Standards Institution, 2014. – P. 56.
10. BSI Standards Publication. PAS 181:2014. Smart city framework. Guide customer service to establishing strategies for smart cities and communities. Executive summary / The British Standards Institution, 2014. – P. 11.
11. Shaping smarter and more sustainable cities. Striving for sustainable development goals. ITU-T's Technical Reports and Specifications // International Telecommunication Union. – Geneva, 2016. – P. 1118.
12. *Скиданова Д.И., Горячев А.А. и др.* Умные города: подходы, отрасли, решения 2018 // Информационно-аналитический сборник №1. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центр экспертизы и координации информатизации». – М.: ФГБУ «ЦЭКИ», 2018. – С. 14.
13. *Кортов С.В., Толмачев Д.Е., Лопатина Т.А. и др.* Концепция построения «умного региона» на территории Свердловской области // Департамент информатизации и связи Свердловской области: официальный сайт. – URL: <https://dis.midural.ru/article/show/id/1241> (дата обращения: 15.01.2021).
14. Проект стратегии «умный город – 2030» // Правительство Москвы: официальный сайт. – URL: https://www.mos.ru/upload/alerts/files/1_Prezentaciya.pdf (дата обращения: 15.01.2021).
15. *Weber M., Zarko I.* A regulatory view on smart city services // Sensors. – 2019. – Vol. 19, Article 415. – P. 1-18.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Е.А. Ереминым.

E-mail:

Стригунов Валерий Витальевич – 005733@pnu.edu.ru.