

**СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ УМНЫХ ГОРОДОВ\*****Евгений Васильевич ПОПОВ<sup>а</sup>, Константин Александрович СЕМЯЧКОВ<sup>б</sup>,  
Ксения Валерьевна ЖУНУСОВА<sup>с</sup>**

<sup>а</sup> член-корреспондент РАН, Уральский институт управления – филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (УИУ РАНХиГС), Екатеринбург, Российская Федерация  
eropov@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-5513-5020>  
SPIN-код: 5810-8410

<sup>б</sup> научный сотрудник, Институт экономики Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Российская Федерация  
k.semyachkov@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0998-0183>  
SPIN-код: 3304-0614

<sup>с</sup> бакалавр, Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Российская Федерация  
ksyusha4444@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-9809-3633>  
SPIN-код: отсутствует

\* Ответственный автор

**История статьи:**

Рег. № 36/2020  
Получена 27.01.2020  
Получена в доработанном виде 17.02.2020  
Одобрена 03.03.2020  
Доступна онлайн 15.04.2020

**УДК** 338.342.44  
**JEL:** C51, O32, O47

**Ключевые слова:** умный город, инженерная инфраструктура, цифровые технологии, инновации, моделирование

**Аннотация**

**Предмет.** Основные элементы инженерной инфраструктуры умных городов.

**Цели.** Систематизация теоретических описаний инженерной инфраструктуры умного города.

**Методология.** Логический анализ компонент инженерной инфраструктуры для различных уровней хозяйственной деятельности и направлений развития умных городов. Систематизация особенностей развития инженерной инфраструктуры на основе функциональной направленности ее аспектов.

**Результаты.** Выявлены основные направления развития инфраструктуры умных городов – энергетика, транспорт, водоснабжение, управление отходами и умные здания. Функциональные преобразования городской среды сводятся к повышению эффективности ее планирования, улучшению безопасности, изучению ее свойств и характеристик, формированию эффективной городской информационной системы.

**Выводы.** Повышение качества городской среды в условиях цифровизации может быть сведено к реализации действий по улучшению механизмов управления процессами; оптимизации городской инфраструктуры; повышению уровня применения цифровых технологий; развитию социально-экономических инноваций.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2020

**Для цитирования:** Попов Е.В., Семячков К.А., Жунусова К.В. Систематизация инженерной инфраструктуры умных городов // Региональная экономика: теория и практика. – 2020. – Т. 18, № 4. – С. 765 – 779.  
<https://doi.org/10.24891/re.18.4.765>

**Введение**

Развитие цифровых технологий и их широкомасштабное внедрение во все аспекты социально-экономической деятельности

является мощным трендом последних лет. Становится умнее вся жизнь современного человека: гаджеты, автомобили, квартиры, дома и даже города. Внедрение цифровых технологий в общественную жизнь способствует появлению более эффективных моделей хозяйствования, основанных на анализе данных и принятии обоснованных

<sup>\*</sup> Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 18-00-00665.

решений. Современные города являются крупнейшими территориями по производству товаров и услуг, одновременно выступая главными потребителями ресурсов. Умные технологии позволяют обеспечить эффективное потребление ресурсов и гармоничное развитие городских конгломератов.

Города растут очень быстро, и управлять ими становится все сложнее. Процессы глобализации и урбанизации способствуют тому, что уже к 2050 г. около 70% мирового населения будет проживать в городских районах. Чтобы контролировать процесс роста современных городов, необходимо применять самые инновационные методы управления. Одним из наиболее эффективных подходов к развитию городского пространства является концепция умного города (smart city).

### **Умный город. Определения**

Создание умных городов является естественной стратегией смягчения проблем, возникающих в результате быстрой урбанизации и роста городского населения. Умные города – достаточно эффективная экономическая модель городского хозяйствования, способствующая рациональному использованию ресурсов и снижающая воздействие на окружающую среду. Внедрение цифровых технологий в городскую среду позволяет эффективнее распределять ресурсы и управлять городскими пространствами.

Понятие умного города (smart city) возникло относительно недавно, причем однозначное и общепринятое толкование этого термина отсутствует. Изначально за словом “smart” скрывалась аббревиатура, где каждая буква обозначала одно из пяти ключевых требований к эффективному определению целей развития. Цель, согласно принципу “smart”, должна быть точная (specific), измеримая (measurable), достижимая (achievable), реальная (realistic), с заданным сроком достижения (timed). Таким образом, умный город – это город, которым можно эффективно управлять [1].

Сама концепция умного города зародилась в конце 1990-х гг. Именно тогда стало очевидно, что цифровые технологии все значительнее трансформируют большинство сфер человеческой деятельности, становясь одним из важнейших факторов социально-экономического развития. Изначально эта идея развивалась исключительно в экологическом и природоохранном контексте. Однако сегодня концепция умного города включает в себя большинство направлений развития городской среды. В широком смысле концепция умного города предполагает обеспечение высокого качества жизни за счет применения инновационных технологий в экономическом, экологическом, социальном аспектах.

Согласно одной из дефиниций умного города, это город, в котором объединена инженерная, цифровая, социальная и бизнес-инфраструктура в целях использования коллективного интеллекта города [2]. В другом случае в качестве умного понимается высокотехнологичный и интенсивно развивающийся город, объединяющий людей, информацию и элементы городской инфраструктуры с помощью новых технологий для создания конкурентоспособной и инновационной экономики, а также для обеспечения высокого качества жизни. В качестве основных элементов умной городской среды отмечаются транспорт и информационно-коммуникационные технологии, экономика, природные ресурсы, человеческий и социальный капитал, качество жизни и участие горожан в управлении городом.

В настоящее время концепция умного города включает в себя развитие множества направлений, от образования и медицины до умных технологий в сфере жилищно-коммунального хозяйства, поэтому трудно сформулировать точное определение, что представляет собой умный город. Некоторые исследователи предлагают рассматривать факторы, оказывающие большое влияние на формирование умного города: применение большого набора электронных и цифровых технологий в обществе и городах, использование цифровых технологий для

трансформации жизни и рабочей среды в пределах региона, внедрение таких технологий в государственные системы управления [3].

Другой подход к определению умного города отмечает необходимое условие формирования умного города, заключающееся в вовлечении граждан в процесс формирования умной городской среды на основе современных средств коммуникации, которые предоставляют цифровые технологии, в целях удовлетворения потребностей городского населения. Умный город, таким образом, не только обладает цифровыми технологиями в конкретных областях, но и реализует потенциал этих технологий таким образом, чтобы они оказывали положительное влияние на местные сообщества.

Современные определения умного города отражают различные аспекты его жизнедеятельности. Тем не менее все они предполагают схожее видение умных городов как территорий с высоким уровнем жизни, благоприятной городской и экологической средой и высокими темпами развития экономики. Устойчивость умного города связана с городской инфраструктурой и управлением, энергетикой и изменением климата, загрязнением и отходами, социальными вопросами, экономикой и здравоохранением [4].

В условиях цифровизации и проникновения цифровых технологий во все значимые аспекты социально-экономической деятельности важнейшим ресурсом для развития становятся данные, представленные в цифровой форме и позволяющие на их основе создавать инструменты для повышения эффективности территориального управления. Сбор и анализ данных в режиме реального времени позволяет понять процессы, происходящие в рамках отдельных территорий, и вырабатывать точные управленческие решения, способствующие качественным изменениям во всех областях социально-экономической деятельности [5].

Современные тенденции развития городских пространств ориентированы на

сбалансированное развитие, учитывающее интересы различных групп населения. Основные направления, в рамках которых происходит такое развитие, заключаются в обеспечении безопасности, социальной защищенности, экологического благополучия, экономической справедливости. Важнейшим условием развития умных городов в таких условиях является наличие современной инженерной инфраструктуры, на основе которой происходит формирование умной городской среды. При этом, несмотря на значительное число исследований по тематике умных городов, многие вопросы их формирования и развития остаются неизученными. В частности, не обозначены основные направления развития умных городов, не выявлены особенности инженерной инфраструктуры, не систематизированы подходы к ее описанию. Таким образом, целью настоящего исследования является систематизация теоретических описаний инженерной инфраструктуры умного города.

Трансформация современного городского пространства обусловлена встраиванием цифровых технологий в физическое пространство городов и формированием общей цифровой среды. Умные города становятся объектом социотехнологических исследований, в которых рассматриваются вопросы взаимодействия человека и технологий в условиях цифровизации.

### **Понятие инженерной инфраструктуры умных городов**

Разберем, что представляет собой инфраструктура умного города. В общем значении инфраструктура – это комплекс взаимосвязанных обслуживающих структур или объектов, составляющих и обеспечивающих основу функционирования системы. Инфраструктура города представляет собой совокупность сооружений, зданий, систем и служб, необходимых для жизнедеятельности города и обеспечения потребности населения. В состав городской инфраструктуры входят инженерно-энергетические и дорожно-транспортные сооружения, системы информации и связи,

складское хозяйство и другие объекты структуры, выполняющие обеспечивающие функции. По мнению М. Харди, инфраструктура умного города является вводным шагом для создания общей структуры и архитектуры умного города. Сфера деятельности этих городов в основном ограничена строительством технопарков, преобразующих промышленную недвижимость в современную инфраструктуру с использованием цифровых технологий, включая систему автоматизации управления активами [6].

Как показывает опыт, интеллектуальные объекты города являются элементами будущей сетевой инфраструктуры. Новая волна социально-экономических преобразований будет основываться на умной инфраструктуре и цифровых устройствах, влияющих на все аспекты общественной экосистемы. Диапазон их применения будет охватывать несколько основных направлений социально-экономической деятельности, таких как энергетика, здравоохранение, транспорт, сельское хозяйство, управление, автоматизация, производство. Набор таких направлений и интеллектуальная инфраструктура составляют основу того, что стало называться умными городами<sup>1</sup>.

Чтобы достичь слаженного взаимодействия всех городских инфраструктурных систем, необходимо следовать основным принципам умного города – открытости и стандартизации. Основная особенность развития умной городской среды заключается в характере взаимоотношения с жителями города. Если в традиционном городе услуги, оказываемые с помощью цифровых технологий, не способны быстро реагировать на изменение окружающих условий, то основной целью функционирования умного города является его непрерывное развитие с учетом экологических, экономических и социальных условий.

Таким образом, можно сделать вывод, что в классическом понимании инфраструктура города – это комплекс взаимосвязанных обслуживающих структур или объектов, составляющих и обеспечивающих основу функционирования городской системы. Однако в контексте умных городов все физическое, электрическое и цифровое, что является основой умного города, может рассматриваться как его инфраструктура. Необходимо отметить, что цифровые технологии «наслаиваются» на объекты физического мира городской среды, инженерную инфраструктуру. Таким образом, развитость инженерной инфраструктуры, ее готовность к использованию в условиях цифровизации является важным условием для построения умных городов.

Инженерная инфраструктура представляет собой реальные физические объекты, такие как здания, дороги, железнодорожные пути, линии электропередач и системы водоснабжения. Инженерная инфраструктура, как правило, не является интеллектуальным компонентом умных городов. Все чаще в условиях цифровизации и развития умных городов современная инженерная инфраструктура включает в себя специализированные устройства (сенсоры, датчики) по сбору и обработке данных из внешней среды. В качестве примеров можно привести сети автомобильных и железных дорог, системы управления отходами, связи, уличного освещения, водоснабжения, газоснабжения, электроснабжения, пожаротушения, а также офисные помещения.

Таким образом, на смену традиционной инженерной инфраструктуре в условиях цифровизации приходит новая интеллектуальная инфраструктура, важным компонентом которой являются цифровые компоненты. Интеллектуальная инфраструктура является более эффективной, безопасной и отказоустойчивой по сравнению с классической. Такая инфраструктура может включать физическую инфраструктуру, датчики, программное обеспечение в качестве ее компонентов.

<sup>1</sup> Balakrishna C. Enabling Technologies for Smart City Services and Applications. In: Sixth International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies. Paris, 2012, pp. 223–227.  
URL: <https://doi.org/10.1109/NGMAST.2012.51>

Программное обеспечение играет решающую роль в автоматизации и развитии интеллектуальной инфраструктуры. Программное обеспечение предоставляет руководителям или операционному персоналу многочисленные специализированные сведения, а также общую картину инфраструктуры умного города, независимо от того, сколько компонент, зданий или географических объектов задействовано в целом. Многоаспектность развития современных умных городов затрудняет анализ и оценку эффективности основных направлений развития инженерной инфраструктуры. Далее рассмотрим основные направления развития инженерной инфраструктуры умных городов и их основные особенности.

### Процедура исследования

В качестве объекта исследования рассмотрена современная инженерная инфраструктура умных городов в различных проявлениях хозяйственной деятельности. Предмет настоящего исследования – экономические отношения, формирующиеся в различных направлениях хозяйственного применения современной инженерной инфраструктуры умных городов.

Анализируемые данные – научные исследования, а также авторские результаты в рамках исследования процессов формирования умных городов.

Метод исследования – логический анализ компонент инженерной инфраструктуры для различных уровней хозяйственной деятельности и направлений развития умных городов. Систематизацию особенностей развития инженерной инфраструктуры авторы исследования провели исходя из функциональной направленности того или иного аспекта инфраструктуры.

### Результаты исследования

Анализ литературных источников позволил выделить несколько наиболее важных направлений развития инженерной инфраструктуры современных умных городов, среди которых отметим энергетику, транспорт,

водоснабжение, управление отходами. Рассмотрим их более подробно.

**Энергетика.** В основе концепции умной энергетики лежат такие инновационные решения, как умные счетчики энергопотребления, умное освещение, интеграция распределенной генерации, когенерация, возобновляемая энергетика.

Умный счетчик (Smart meter) является усовершенствованным счетчиком энергии, который измеряет потребление энергии и предоставляет дополнительную информацию коммунальной компании по сравнению с обычным счетчиком энергии. Интеллектуальные счетчики могут считывать информацию о потреблении энергии в реальном времени, включая значения напряжения, фазового угла и частоты, и надежно передавать эти данные. Интеллектуальные счетчики могут обмениваться данными и выполнять команды управления как удаленно, так и локально. Интеллектуальные счетчики могут использоваться для мониторинга, а также для управления всеми бытовыми приборами и устройствами. Они также могут собирать диагностическую информацию о распределительной сети, бытовой технике и могут взаимодействовать с другими счетчиками в пределах их досягаемости. Они могут измерять потребление электроэнергии из сети, поддерживать децентрализованные источники генерации и устройства хранения энергии<sup>2</sup>.

Другая инновация, умное освещение, приобретает огромную популярность благодаря своим преимуществам перед традиционным освещением за счет высокой продолжительности работы, надежности, энергоэффективности и универсальности. Как правило, светодиоды работают в течение 35 000–50 000 ч., что примерно в 3 раза превышает срок службы флуоресцентных ламп; потребление энергии при этом

<sup>2</sup> Depuru S.S.S.R., Wang L., Devabhaktuni V., Gudi N. Smart Meters for Power Grid – Challenges, Issues, Advantages and Status. In: 2011 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition. Phoenix, 2011, pp. 1–7.  
URL: <https://doi.org/10.1109/psce.2011.5772451>

сокращается на 25%. Например, в Венгрии на первом этапе внедрения умного освещения были заменены старые уличные фонари. В результате только лишь в городе Балатонфюред и его окрестностях было сэкономлено 55% суммы от обычных муниципальных затрат на электричество. Это подвигло власти развивать данную тенденцию, распространять ее по стране.

Во многих странах в настоящее время все более активно поддерживается тенденция широкомасштабного перехода к распределенной генерации энергии (РГЭ). Термин «распределенная генерация энергии» (distributed generation) понимается как производство энергии на уровне распределительной сети или на стороне потребителя, включенного в сеть. В общем случае «распределенная генерация» есть выработка электроэнергии по месту ее потребления. Отсутствие сети исключает потери (и затраты) на передачу электроэнергии. При этом подразумевается наличие множества потребителей, которые производят электрическую энергию для собственных нужд, направляя ее излишки в общую сеть. В рамках данной концепции в качестве распределенных генераторов энергии могут выступать когенерационные установки (КГУ) малой и средней мощности, позволяющие снизить затраты на производство энергии до 40% [7, 8].

Невозможно представить умный город и без широкого применения возобновляемых источников энергии: солнечного света, водных потоков, ветра. Удовлетворение потребности в электроэнергии за счет солнечных тепло- и электростанций, ветрогенераторов безопасно для окружающей среды. Такие источники неисчерпаемы и общедоступны. В 2015 г. около 19,3% мирового энергопотребления было удовлетворено из возобновляемых источников энергии. В 2018 г. в Германии из возобновляемых источников было произведено 38% электроэнергии. Гидроэлектроэнергия является крупнейшим источником возобновляемой энергии и обеспечила 3,3% мирового потребления

энергии и 15,3% мировой генерации электроэнергии в 2015 г.

Использование энергии ветра растет примерно на 30% в год и широко используется в странах Европы, США и Китае. Производство фотоэлектрических панелей быстро нарастает: в 2008 г. было произведено панелей общей мощностью 6,9 ГВт (6 900 МВт), что почти в 6 раз больше уровня 2004 г. Солнечные электростанции популярны в Германии и Испании. Солнечные тепловые станции действуют в США и Испании, а крупнейшей из них является станция в пустыне Мохаве мощностью 354 МВт. Крупнейшей в мире геотермальной установкой является установка на гейзерах в Калифорнии с номинальной мощностью 750 МВт [9].

*Транспорт.* Транспортная система умного города включает в себя такие компоненты, как интеллектуальные транспортные системы, системы оплаты за пользование инфраструктурой, умные парковки, информационные оповещения для горожан, экологичный транспорт.

Надежная и эффективная транспортная система является неотъемлемой компонентой современных умных городов. ИТС (intelligent transportation system) является интеллектуальной системой, использующей инновационные разработки в моделировании транспортных систем и регулировании транспортных потоков, предоставляющей конечным потребителям большой объем информации, а также качественно повышающей уровень взаимодействия участников движения по сравнению с обычными транспортными системами [10].

К инновационным методам относят автоматизированные системы оплаты проезда с использованием информационных технологий и технологий бесконтактной передачи информации. Во многих мегаполисах высокую эффективность показывает АСОП с использованием технологии PayPass и PayWave на основе банковской платежной системы. Все чаще стала использоваться оплата с помощью

мобильного телефона; начинает свое развитие биометрический способ оплаты. Интересным примером является индийская биометрическая идентификационная система AADHAAR. Она содержит данные более чем 1 млрд чел., то есть 10 млрд шаблонов отпечатков пальцев, 2 млрд шаблонов радужной оболочки глаза и 1 млрд фотографий [11].

Система управления паркингом предоставляет информацию в режиме реального времени о наличии парковочных мест. Пользователи из удаленных мест могут забронировать парковочное место с помощью мобильного приложения. Например, Сингапур пронизан сетью смарт-парковок, регистрирующих число оставленных на них автомобилей и отправляющих в приложение данные о свободных местах [12].

Благодаря развитию технологий и появлению интеллектуальных сервисов умные города предлагают улучшенное восприятие городской жизни. Например, служба расписания общественного транспорта в реальном времени может существенно повысить эффективность планирования поездок. Например, в Сеуле пассажир на остановке видит на специальном экране не только расписание автобуса того или иного маршрута, но и информацию о его реальном передвижении, затруднениях, ДТП на маршруте [13].

Современный экологический транспорт уже встречается на улицах городов. Развитие технологий предлагает обществу все новые, более эффективные решения. Один из интересных типов экологичного средства передвижения питается так же, как смартфоны с беспроводной зарядкой: источником энергии служит кабель, проложенный под дорогой, а с помощью индукции электричество передается на двигатели. Такие автобусы курсируют по улицам Парижа (проект Jeweline), по территории парков в США, Японии. Другим примером являются мини-поезда для туристов, запущенные в Венгрии. Страны с высоким промышленным потенциалом (например, Китай) реализуют проекты развития транспортных средств, приводимых в движение солнечной энергией [14].

**Водоснабжение.** Проблемы водоснабжения и потребления водных ресурсов являются важнейшим аспектом развития умных городов. Городское хозяйство современных мегаполисов является крупнейшим потребителем такого вида ресурсов. Повышение эффективности водопотребления предполагает использование таких систем, как умные счетчики водопотребления, системы контроля водопотребления, обнаружения и снижения уровня утечек, инновационные методы очистки.

Умный счетчик воды связан с устройством, позволяющим непрерывно считывать и отображать расход воды в электронном виде. После того как эта информация становится доступной в виде электронного сигнала, она может быть записана и обработана, как и любой другой сигнал. Современные мобильные телефоны, беспроводные модемы, Интернет и другие технологии распределения данных позволяют легко передавать этот сигнал на компьютер. В Китае уровень распространения интеллектуальных счетчиков воды составляет более 30%. В 2018 г. в Китае было отгружено более 24 млн интеллектуальных счетчиков воды, что на 13% больше, чем в 2017 г. Благодаря строительному буму и замене счетчиков объем роста сегмента в 2019–2025 гг. будет варьироваться от 10 до 15% [15].

Умные технологии оптимизируют водоснабжение и расход ресурса, подсчитывают, сколько жидкости потребляется за единицу времени, позволяют понять, где ее использование нерационально, и даже выдают отчет с советами, как уменьшить траты. К примеру, проект «Умное водоснабжение» запущен в трех районах Сандреленда (Англия). На водопроводной сети Northumbrian Water установлено около 150 датчиков, отслеживающих давление в трубах и качество водоснабжения<sup>3</sup>.

Найти повреждения в системе водоснабжения можно с помощью установленных заранее

<sup>3</sup> Krope J., Olabi A.G., Goričanec D., Božičnik S. (Eds). 10-th International Conference on Sustainable Energy and Environmental Protection. Maribor, 2017. URL: <https://www.scilit.net/article/e7c54cd0f1f968a68eec83022edb2ffb>

датчиков влажности. Это помогает предупредить разрывы труб и траты на ремонт. Когда на специальные датчики попадает вода, сигнал поступает в общую систему, блокирующую водоснабжение и отправляющую информацию на смартфон [16].

Современная эпоха характеризуется использованием умных и интеллектуальных материалов практически во всех сферах жизни. Технология очистки воды не является исключением из этого правила. В этой чрезвычайно важной области исследований наблюдается все более активное участие интеллектуальных материалов в удалении загрязняющих веществ, что способствует повышению качества воды, доступной для использования в повседневной жизни. Решением этой проблемы являются интеллектуальные материалы (в основном адсорбенты и фильтрующие мембраны). Такие материалы имеют программируемые свойства, что обеспечивает повышенную управляемость процессом удаления загрязняющих веществ из воды [17].

*Управление отходами.* Важной проблемой современных городов является проблема ликвидации отходов, так как города являются главным источником их образования. В рамках создания умных городов реализуются следующие направления в области управления отходами: минимизация образования отходов, переработка бытовых отходов (recycling), сортировка отходов с использованием интеллектуальных систем, сбор и вывоз отходов с помощью инновационных технологий.

Концепция минимизации отходов уменьшает количество и вредные последствия образования отходов путем сокращения их количества, повторного использования с помощью простых обработок и рециркуляции, при которой отходы выступают в качестве ресурсов для производства тех же или модифицированных продуктов. Принцип сокращения отходов, повторного использования и переработки ресурсов и продуктов направлен на достижение эффективной минимизации образования

отходов. Допустимо повторное использование предметов или частей предметов, которые все еще имеют полезные свойства и могут использоваться в качестве ресурсов [18].

Термин «рециклинг» используется для обозначения процесса возвращения отходов в процессы техногенеза. Рециклинг отходов осуществляется повторным использованием отходов по тому же назначению (например, стеклянных бутылок после их соответствующей безопасной обработки и маркировки) либо путем возврата отходов после соответствующей обработки в производственный цикл. Например, в США активно финансируется сектор экономики по переработке отходов. В результате коллаборации с Linde Group был построен первый в США завод, специализирующийся на переработке отходов в метан (сжиженный газ), активно используемый как топливо для автомобилей [19].

Ярким примером интеллектуального решения в области обращения с отходами является система оптимизации и контроля вывоза твердых коммунальных отходов Wasteout. Продукт Wasteout включает в себя аппаратную часть и онлайн-сервис. Аппаратная часть устанавливается внутри контейнеров и фиксирует факт их заполнения и опорожнения с помощью ультразвукового датчик-дальномера, датчика температуры и наклона. По беспроводным сетям данные передаются в онлайн-систему планирования и контроля, где алгоритмы прогнозируют наполняемость контейнеров и рассчитывают оптимальный маршрут сбора и вывоза отходов [20].

*Умные здания.* Термин «умные здания» используется уже более двадцати лет в рамках концепции применения цифрового оборудования в целях эффективного управления современными зданиями и сооружениями. Первоначально предполагалось, что основная идея умного здания заключается в идеях энергоэффективности, однако затем, с развитием цифровых технологий, процессам автоматизации подверглись и другие компоненты. Сегодня интеллектуальные здания используют дополнительные

подсистемы управления и контроля бытовой техники и потребления энергии, используя чаще всего технологию беспроводной связи.

Цифровые технологии позволяют интеллектуальным зданиям взаимодействовать со своими внутренними устройствами и приборами, которыми они также могут управлять, и с окружающей средой. Кроме того, они могут адаптироваться к условиям сети и взаимодействовать с другими зданиями, создавая умную инфраструктуру<sup>4</sup>. Концепция интеллектуального здания предоставляет возможность создания подсистемы удаленного управления в рамках интегрированной системы управления. Эта подсистема позволяет получать информацию о событиях и состоянии некоторых параметров и удаленно посылать команды управления всей системе или ее отдельным компонентам.

Важным направлением в рамках концепции умных зданий является разработка и внедрение умных приборов, которые значительно сокращают потребление ресурсов. Примером применения smart-технологии является возможность частичного или полного отключения прибора без заметных последствий для потребителя<sup>5</sup>. Подходы к проектированию крупных проектов на основе анализа большого объема данных (big data) позволяют существенно снизить энергозатраты и обнаружить важные закономерности для улучшения конструкции здания [21]. Использование энергоэффективных и устойчивых «зеленых» конструктивных особенностей стало главным приоритетом в процессах проектирования и эксплуатации современных зданий в последние годы [22].

<sup>4</sup> Morvaj B., Lugaric L., Krajcar S. Demonstrating Smart Buildings and Smart Grid Features in a Smart Energy City. Proceedings of the 2011 3rd International Youth Conference on Energetics, IYCE 2011. Leiria, 2011. URL: [https://www.researchgate.net/publication/252046548\\_Demonstrating\\_smart\\_buildings\\_and\\_smart\\_grid\\_features\\_in\\_a\\_smart\\_energy\\_city](https://www.researchgate.net/publication/252046548_Demonstrating_smart_buildings_and_smart_grid_features_in_a_smart_energy_city)

<sup>5</sup> Stragier J., Hautekeete L., De Marez L. Introducing Smart Grids in Residential Contexts: Consumers' Perception of Smart Household Appliances. In: 2010 IEEE Conference on Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply. Waltham, 2010, pp. 135–142. URL: <https://doi.org/10.1109/citres.2010.5619864>

## Обсуждение результатов

Для обсуждения результатов сведем описание функциональных особенностей инженерной инфраструктуры в табл. 1. Проведенный анализ литературы позволил выявить пять основных направлений развития инфраструктуры умных городов – энергетику, транспорт, водоснабжение, управление отходами и умные здания. Как показывает проведенная систематизация теоретических подходов к описанию инфраструктуры, функциональные области преобразований городской среды сводятся к повышению эффективности планирования городской среды, безопасности, изучению свойств и характеристик (анализ данных), формированию эффективной городской информационной системы.

Анализируя особенности развития городских пространств, уже сегодня можно сделать вывод о тех особенностях, с которыми сталкиваются современные города, а также предположить дальнейшее усложнение управления городским хозяйством. Повышение качества городской среды в условиях цифровизации может быть сведено к реализации действий по улучшению механизмов управления процессами; оптимизации городской инфраструктуры; повышению уровня применения цифровых технологий; развитию социально-экономических инноваций.

Научная новизна исследования заключается в систематизации теоретических описаний инженерной инфраструктуры умного города, развивающей теорию последовательных этапов становления цифрового общества. Приращение знаний состоит в выделении функциональных областей, в которых наблюдаются изменения городской среды под воздействием цифровых технологий.

## Выводы

В настоящем исследовании в целях систематизации теоретических подходов к описанию инженерной инфраструктуры умных городов получены следующие теоретические и практические результаты.

Во-первых, инженерная инфраструктура современных городов является базовым условием их развития в процессе цифровизации хозяйственной деятельности.

Во-вторых, выделены основные компоненты инженерной инфраструктуры в рамках реализации концепции умного города, включающие энергетику, транспорт, водоснабжение, управление отходами, умные здания. Рассмотрены более детальные составляющие этих направлений.

В-третьих, определены те функциональные области, в которых наиболее четко

проявляются эффекты от реализации инициатив по развитию умного города: анализ данных, безопасность, информационная система, управление изменениями, снижение потребления ресурсов.

Теоретическая значимость полученных результатов заключается в формировании теоретического аппарата прогнозирования последовательного развития умных городов. Практическая значимость результатов состоит в обосновании прикладного инструментария для разработки стратегических планов развития умных городов.

**Таблица 1**

**Систематизация теоретических описаний инженерной инфраструктуры**

**Table 1**

**Systematization of the theoretical descriptions of civil engineering infrastructure**

| Функциональная область        | Инфраструктура                                    |                                                |                                      |
|-------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|
|                               | Энергетика                                        | Транспорт                                      | Водоснабжение                        |
| Анализ данных                 | Умное освещение                                   | Интеллектуальные транспортные системы          | Контроль водопотребления             |
| Безопасность                  | –                                                 | Системы оплаты за использование инфраструктуры | Обнаружение и снижение уровня утечек |
| Информационная система        | Умные счетчики энергопотребления                  | Информационные оповещения                      | Умные счетчики водопотребления       |
| Управление изменениями        | Интеграция распределенной генерации (когенерация) | Умные парковки                                 | Инновационные методы очистки         |
| Снижение потребления ресурсов | Возобновляемая генерация                          | Экологичный транспорт                          | –                                    |

*Продолжение*

| Функциональная область        | Инфраструктура                                              |                                             |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|                               | Управление отходами                                         | Умные здания                                |
| Анализ данных                 | Сортировка отходов с использованием интеллектуальных систем | Интегрированная автоматизация               |
| Безопасность                  | Сбор и вывоз отходов с помощью инновационных технологий     | Умные приборы                               |
| Информационная система        | –                                                           | Удаленное управление зданием                |
| Управление изменениями        | Переработка бытовых отходов                                 | Энергоэффективная реставрация старых зданий |
| Снижение потребления ресурсов | Минимизация образования отходов                             | Энергоэффективное проектирование зданий     |

*Источник:* авторская разработка

*Source:* Authoring

## Список литературы

1. *Drucker P.* The Frontiers of Management. London, Routledge, 2012, 384 p.
2. *Harrison C., Eckman B., Hamilton R. et al.* Foundations for Smarter Cities. *IBM Journal of Research and Development*, 2010, vol. 54, no. 4, pp. 1–16.  
URL: <https://doi.org/10.1147/JRD.2010.2048257>
3. *Deakin M., Al Waer H.* From Intelligent to Smart Cities. *Intelligent Buildings International*, 2011, vol. 3, iss. 3, pp. 133–139. URL: <https://doi.org/10.1080/17508975.2011.586673>
4. *Dameri R.P., Rosenthal-Sabroux C.* Smart City. How to Create Public and Economic Value with High Technology in Urban Space. Cham, Springer International Publishing, 2014, 238 p.  
URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06160-3>
5. *Bibri S.E.* Smart Sustainable Cities of the Future. The Untapped Potential of Big Data Analytics and Context-Aware Computing for Advancing Sustainability. Cham, Springer International Publishing, 2018, 660 p. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73981-6>
6. *Al-Hader M., Rodzi A.* The Smart City Infrastructure Development & Monitoring. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, 2009, vol. 4, no. 2, pp. 87–94. URL: [https://www.researchgate.net/publication/46567764\\_The\\_smart\\_city\\_infrastructure\\_development\\_monitoring](https://www.researchgate.net/publication/46567764_The_smart_city_infrastructure_development_monitoring)
7. *Sevincer A., Bhattarai A., Bilgi M. et al.* LIGHTNETs: Smart LIGHTing and Mobile Optical Wireless NETWORKs – A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2013, vol. 15, iss. 4, pp. 1620–1641. URL: <https://doi.org/10.1109/surv.2013.032713.00150>
8. *Calvillo C.F., Sánchez A., Villar J.* Evaluation and Optimal Scaling of Distributed Generation Systems in a Smart City. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 2013, vol. 179, pp. 845–857. URL: <https://doi.org/10.2495/SC130722>
9. *Verbruggen A., Fishedick M., Moomaw W. et al.* Renewable Energy Costs, Potentials, Barriers: Conceptual Issues. *Energy Policy*, 2010, vol. 38, iss. 2, pp. 850–861.  
URL: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.036>
10. *Menouar H., Guvenc I., Akkaya K. et al.* UAV-Enabled Intelligent Transportation Systems for the Smart City: Applications and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 2017, vol. 55, iss. 3, pp. 22–28. URL: <https://doi.org/10.1109/mcom.2017.1600238cm>
11. *Di Pasquale G., Dos Santos A.S., Leal A.G., Tozzi M.* Innovative Public Transport in Europe, Asia and Latin America: A Survey of Recent Implementations. *Transportation Research Procedia*, 2016, vol. 14, pp. 3284–3293. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.276>
12. *Lin T., Rivano H., Le Mouél F.* A Survey of Smart Parking Solutions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2017, vol. 18, iss. 12, pp. 3229–3253.  
URL: <https://doi.org/10.1109/tits.2017.2685143>
13. *Farkas K., Feher G., Benczur A., Sidlo C.* Crowdsending Based Public Transport Information Service in Smart Cities. *IEEE Communications Magazine*, 2015, vol. 53, iss. 8, pp. 158–165.  
URL: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2015.7180523>
14. *Goldman T., Gorham R.* Sustainable Urban Transport: Four Innovative Directions. *Technology in Society*, 2006, vol. 28, iss. 1-2, pp. 261–273.  
URL: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2005.10.007>

15. Ipsen K.L., Zimmermann R.K., Nielsen P.S., Birkved M. Environmental Assessment of Smart City Solutions Using a Coupled Urban Metabolism – Life Cycle Impact Assessment Approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2019, vol. 24, pp. 1239–1253. URL: <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1453-9>
16. Gong W., Suresh M.A., Smith L. et al. Mobile Sensor Networks for Optimal Leak and Backflow Detection and Localization in Municipal Water Networks. *Environmental Modelling & Software*, 2016, vol. 80, pp. 306–321. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.02.001>
17. Dutta K., De S. Smart Responsive Materials for Water Purification: An Overview. *Journal of Materials Chemistry A*, 2017, vol. 5, iss. 42, pp. 22095–22112. URL: <https://doi.org/10.1039/c7ta07054c>
18. Obi F., Ugwuishiwu B., Nwakaire J. Agricultural Waste Concept, Generation, Utilization and Management. *Nigerian Journal of Technology*, 2016, vol. 35, no. 4, pp. 957–964. URL: <https://doi.org/10.4314/njt.v35i4.34>
19. Pandey R.U., Surjan A., Kapshe M. Exploring Linkages between Sustainable Consumption and Prevailing Green Practices in Reuse and Recycling of Household Waste: Case of Bhopal City in India. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 173, pp. 49–59. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.227>
20. Rousta K., Bolton K., Lundin M., Dahlén L. Quantitative Assessment of Distance to Collection Point and Improved Sorting Information on Source Separation of Household Waste. *Waste Management*, 2015, vol. 40, pp. 22–30. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.005>
21. Kim H., Stumpf A., Kim W. Analysis of an Energy Efficient Building Design through Data Mining Approach. *Automation in Construction*, 2011, vol. 20, iss. 1, pp. 37–43. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.07.006>
22. Ivanović-Šekularac J.A., Čikić-Tovaročić J.Lj., Šekularac N.D. Restoration and Conversion to Re-use of Historic Buildings Incorporating Increased Energy Efficiency: A Case Study – the Haybarn Complex, Hilandar Monastery, Mount Athos. *Thermal Science*, 2016, vol. 20, iss. 4, pp. 1363–1376. URL: <https://doi.org/10.2298/TSCI160208131I>

### Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

## SYSTEMATIZATION OF THE SMART CITY CIVIL ENGINEERING INFRASTRUCTURE

Evgenii V. POPOV <sup>a,\*</sup>, Konstantin A. SEMYACHKOV <sup>b</sup>, Kseniya V. ZHUNUSOVA <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Ural Institute of Management, Branch of RANEPa, Yekaterinburg, Russian Federation  
epopov@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-5513-5020>

<sup>b</sup> Institute of Economics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences,  
Yekaterinburg, Russian Federation  
k.semyachkov@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0998-0183>

<sup>c</sup> Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg, Russian Federation  
ksyusha4444@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-9809-3633>

\* Corresponding author

### Article history:

Article No. 36/2020  
Received 27 January 2020  
Received in revised form  
17 February 2020  
Accepted 3 March 2020  
Available online  
15 April 2020

**JEL classification:** C51, O32,  
O47

**Keywords:** smart city,  
engineering infrastructure,  
digital technology, innovation,  
modeling

### Abstract

**Subject.** This article explores the basic elements of the engineering infrastructure of smart cities.

**Objectives.** The article aims to systematize theoretical descriptions of the engineering infrastructure of a smart city.

**Methods.** For the study, we used a logical analysis and systematization.

**Results.** The article highlights the main areas of infrastructure development of smart cities.

**Conclusions.** Improving process management mechanisms, optimizing urban infrastructure, increasing the use of digital technologies, and developing socio-economic innovation improve the quality of the urban environment in a digitalized environment. And improving the efficiency of urban planning and security, studying its properties and characteristics, and forming an effective urban information system lead to its functional transformations.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2020

**Please cite this article as:** Popov E.V., Semyachkov K.A., Zhunusova K.V. Systematization of the Smart City Civil Engineering Infrastructure. *Regional Economics: Theory and Practice*, 2020, vol. 18, iss. 4, pp. 765–779.  
<https://doi.org/10.24891/re.18.4.765>

### Acknowledgments

The article was supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR), project № 18-00-00665.

### References

1. Drucker P. *The Frontiers of Management*. London, Routledge, 2012, 384 p.
2. Harrison C., Eckman B., Hamilton R. et al. Foundations for Smarter Cities. *IBM Journal of Research and Development*, 2010, vol. 54, no. 4, pp. 1–16.  
URL: <https://doi.org/10.1147/JRD.2010.2048257>
3. Deakin M., Al Waer H. From Intelligent to Smart Cities. *Intelligent Buildings International*, 2011, vol. 3, iss. 3, pp. 133–139. URL: <https://doi.org/10.1080/17508975.2011.586673>

4. Dameri R.P., Rosenthal-Sabroux C. Smart City. How to Create Public and Economic Value with High Technology in Urban Space. Cham, Springer International Publishing, 2014, 238 p. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06160-3>
5. Bibri S.E. Smart Sustainable Cities of the Future. The Untapped Potential of Big Data Analytics and Context-Aware Computing for Advancing Sustainability. Cham, Springer International Publishing, 2018, 660 p. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73981-6>
6. Al-Hader M., Rodzi A. The Smart City Infrastructure Development & Monitoring. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, 2009, vol. 4, no. 2, pp. 87–94. URL: [https://www.researchgate.net/publication/46567764\\_The\\_smart\\_city\\_infrastructure\\_development\\_monitoring](https://www.researchgate.net/publication/46567764_The_smart_city_infrastructure_development_monitoring)
7. Sevincer A., Bhattarai A., Bilgi M. et al. LIGHTNETs: Smart LIGHTing and Mobile Optical Wireless NETworks – A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2013, vol. 15, iss. 4, pp. 1620–1641. URL: <https://doi.org/10.1109/surv.2013.032713.00150>
8. Calvillo C.F., Sánchez A., Villar J. Evaluation and Optimal Scaling of Distributed Generation Systems in a Smart City. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 2013, vol. 179, pp. 845–857. URL: <https://doi.org/10.2495/SC130722>
9. Verbruggen A., Fishedick M., Moomaw W. et al. Renewable Energy Costs, Potentials, Barriers: Conceptual Issues. *Energy Policy*, 2010, vol. 38, iss. 2, pp. 850–861. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.036>
10. Menouar H., Guvenc I., Akkaya K. et al. UAV-Enabled Intelligent Transportation Systems for the Smart City: Applications and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 2017, vol. 55, iss. 3, pp. 22–28. URL: <https://doi.org/10.1109/mcom.2017.1600238cm>
11. Di Pasquale G., Dos Santos A.S., Leal A.G., Tozzi M. Innovative Public Transport in Europe, Asia and Latin America: A Survey of Recent Implementations. *Transportation Research Procedia*, 2016, vol. 14, pp. 3284–3293. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.276>
12. Lin T., Rivano H., Le Mouël F. A Survey of Smart Parking Solutions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2017, vol. 18, iss. 12, pp. 3229–3253. URL: <https://doi.org/10.1109/tits.2017.2685143>
13. Farkas K., Feher G., Benczur A., Sidlo C. Crowdsending Based Public Transport Information Service in Smart Cities. *IEEE Communications Magazine*, 2015, vol. 53, iss. 8, pp. 158–165. URL: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2015.7180523>
14. Goldman T., Gorham R. Sustainable Urban Transport: Four Innovative Directions. *Technology in Society*, 2006, vol. 28, iss. 1-2, pp. 261–273. URL: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2005.10.007>
15. Ipsen K.L., Zimmermann R.K., Nielsen P.S., Birkved M. Environmental Assessment of Smart City Solutions Using a Coupled Urban Metabolism – Life Cycle Impact Assessment Approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2019, vol. 24, pp. 1239–1253. URL: <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1453-9>
16. Gong W., Suresh M.A., Smith L. et al. Mobile Sensor Networks for Optimal Leak and Backflow Detection and Localization in Municipal Water Networks. *Environmental Modelling & Software*, 2016, vol. 80, pp. 306–321. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.02.001>

17. Dutta K., De S. Smart Responsive Materials for Water Purification: An Overview. *Journal of Materials Chemistry A*, 2017, vol. 5, iss. 42, pp. 22095–22112.  
URL: <https://doi.org/10.1039/c7ta07054c>
18. Obi F., Ugwuishiwu B., Nwakaire J. Agricultural Waste Concept, Generation, Utilization and Management. *Nigerian Journal of Technology*, 2016, vol. 35, no. 4, pp. 957–964.  
URL: <https://doi.org/10.4314/njt.v35i4.34>
19. Pandey R.U., Surjan A., Kapshe M. Exploring Linkages between Sustainable Consumption and Prevailing Green Practices in Reuse and Recycling of Household Waste: Case of Bhopal City in India. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 173, pp. 49–59.  
URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.227>
20. Rousta K., Bolton K., Lundin M., Dahlén L. Quantitative Assessment of Distance to Collection Point and Improved Sorting Information on Source Separation of Household Waste. *Waste Management*, 2015, vol. 40, pp. 22–30. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.005>
21. Kim H., Stumpf A., Kim W. Analysis of an Energy Efficient Building Design through Data Mining Approach. *Automation in Construction*, 2011, vol. 20, iss. 1, pp. 37–43.  
URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.07.006>
22. Ivanović-Šekularac J.A., Čikić-Tovaročić J.Lj., Šekularac N.D. Restoration and Conversion to Re-use of Historic Buildings Incorporating Increased Energy Efficiency: A Case Study – the Haybarn Complex, Hilandar Monastery, Mount Athos. *Thermal Science*, 2016, vol. 20, iss. 4, pp. 1363–1376. URL: <https://doi.org/10.2298/TSCI160208131I>

#### **Conflict-of-interest notification**

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.