



**Рамазанов Р.Р.**  
**Ramazanov R.R.**

*младший научный сотрудник Центра стратегических и междисциплинарных исследований, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук», г. Уфа, Российская Федерация*

УДК 334.02

DOI: 10.17122/2541-8904-2020-3-33-73-78

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ОПТИМИЗАЦИИ СМАРТ-СИСТЕМ

В статье обсуждаются возможности применения имитационного моделирования для решения проблем оптимизации элементов среды «умного города». Концепция смарт-систем в урбанистике появилась относительно недавно, однако активная дискуссия о возможностях ее применения ведется не только среди специалистов. Растущую заинтересованность в новых технологиях демонстрируют бизнес и администрации крупных городов. В основе актуализации новой технологической повестки лежит ряд комплексных социальных и технологических тенденций. Речь здесь, прежде всего, идет о завершающейся стадии трансформации индустриальных обществ в общества информационного типа и бурном развитии телекоммуникационных технологий, создавших условия для возникновения Интернета вещей.

Цифровизация объектов инфраструктуры, элементов контроля и управления городской логистикой в будущем, по всей видимости, приведет к формированию полностью автоматизированных суперсистем, функционирование которых будет определять качество жизни городских жителей. Уже сегодня технологические возможности позволяют вводить в эксплуатацию некоторые квазиинтеллектуальные элементы управления, однако внедрение инноваций требует всестороннего неумозрительного анализа всех возможных последствий. Функционирование любой автоматизированной системы строится на основе комплекса математических алгоритмов, определяющих ее реакции на изменения переменных внешней среды и внутреннего состояния. С проблемой алгоритмизации тесно связана проблема калибровки связей элементов смарт-систем, решить которую классическими хорошо апробированными аналитическими методами может быть практически невозможно, ввиду чрезвычайной сложности некоторых смарт-систем.

Инструментом апробации и оптимизации комплексных смарт-систем управления могло бы стать имитационное моделирование и агенториентированный подход в частности. Имитационное моделирование позволяет осуществлять эмуляционные эксперименты, определяя влияние тех или иных вариантов дизайна и способов калибровки проектируемых смарт-систем на их функциональную эффективность. Полезность агентного моделирования здесь заключается в его ориентированности на воспроизведение сложных систем снизу-вверх – от действий множества элементарных субъектов к глобальной динамике системы. Данное свойство агентного подхода актуализирует его применение при проектировании смарт-систем управления городской среды, динамика и функционирование которой определяются действиями и взаимодействиями множества независимых субъектов с противоположными целями.

**Ключевые слова:** агентное моделирование, цифровая экономика, умный город, инновационное развитие.

## SIMULATION MODELING AS AN OPTIMIZATION TOOL OF SMART SYSTEMS

The article discusses the possibilities of applying simulation to solving problems of optimizing the environmental elements of a “smart city”. The concept of smart systems in urban studies has

appeared relatively recently, however, an active discussion about the possibilities of its application is conducted not only among specialists. The growing interest in new technologies is demonstrated by business and administrations of large cities. The updating of the new technological agenda is based on a number of complex social and technological trends. First of all, we are talking about the final stage of transformation of industrial societies into information-type societies and the rapid development of telecommunication technologies, which created the conditions for the emergence of the Internet of things.

Digitalization of infrastructure objects, elements of control and management of urban logistics in the future, most likely, will lead to the formation of fully automated supersystems, the functioning of which will determine the quality of life of urban residents. Already today, technological capabilities make it possible to commission some quasi-intelligent controls, however, the introduction of innovations requires a comprehensive, non-speculative analysis of all the possible consequences. The functioning of any automated system is based on a set of mathematical algorithms that determine its response to changes in environmental variables and the internal state. Closely connected with the problem of algorithmization is the problem of calibrating the connections of elements of smart systems, which can be practically impossible to solve with classical well-tested analytical methods due to the extreme complexity of some smart systems.

Simulation modeling and agent-based approach in particular could become a tool for testing and optimizing integrated smart control systems. Simulation modeling allows for emulation experiments, determining the influence of various design options and calibration methods of smart systems being designed on their functional efficiency. The usefulness of agent modeling here lies in its focus on reproducing complex systems from the bottom up - from the actions of many elementary subjects to the global dynamics of the system. This property of the agent-based approach actualizes its application in the design of smart control systems for the urban environment, the dynamics and functioning of which is determined by the actions and interactions of many independent entities with opposite goals.

**Key words:** agent modeling; digital economy; smart city; innovative development.

Развитие и распространение телекоммуникационных технологий, нарастающая информатизация с использованием телефонии, радио, телевидения, сети Интернет, а также традиционных и электронных СМИ стали основанием возникновения информационного общества. По данным Федеральной службы государственной статистики и Высшей школы экономики, по состоянию на 2018 год доля населения России, пользующегося Интернетом, приближается к отметке в 90 %. Каждый день в сеть выходит около 70 % граждан: 11 % – через персональные компьютеры и более 70 % – через мобильные устройства [3].

Увеличение скорости передачи данных и аппаратной мощности телекоммуникационных устройств породило мир Интернета вещей – сферы прямого взаимодействия предметов, подключенных к общей сети. Смартфоны сегодня, как персональные идентификаторы человека в цифровом мире, могут участвовать в генерации больших данных, используемых смарт-системами – ана-

лизаторами: транслировать информацию о местонахождении носителей, сообщать о совершаемых ими покупках. Собранные данные могут использоваться, например, для мониторинга дорожных пробок, определения локаций высокой коммерческой активности и др. Интегрированные системы могут передавать на устройства предупреждения о препятствиях, возникающих на пути следования носителей и др. [11, 12].

Всепроникающая диджитализация запускает интеграционные процессы в самых разных областях общественной жизни. Ее результатом, в частности, стало возникновение концепции «умный город», объединяющей информационные и коммуникационные технологии с Интернетом вещей, посредством которого элементы городской среды способны взаимодействовать друг с другом и с населением. Так, умная транспортная система, управляя сетью светофоров и динамических дорожных знаков, способна оптимизировать потоки транспортных средств. Умное здравоохранение оптимизирует рас-

пределение потоков пациентов между поликлиниками [1, 7-9].

На сегодняшний день одним из мировых лидеров по внедрению смарт-решений является Москва. Москвичи имеют электронные медицинские карты, доступные для любого медучреждения в любой момент времени. Через приложения на смартфоне горожане могут записываться на прием к врачу, получать рецепты и листки нетрудоспособности. Московская электронная школа обеспечивает прозрачность учебного процесса. Онлайн-дневники позволяют родителям напрямую следить за успеваемостью своих детей и осуществлять контроль за исполнением домашнего задания. Через специальное приложение школьники получают доступ к электронной библиотеке; родители оперативно информируются о времени начала и окончания школьных занятий. Отдельные социальные группы горожан получают специализированные карты (карта москвича), через которые они могут получать государственную поддержку в дифференцируемом виде. Цифровой сервис «Мой район» позволяет москвичам подавать жалобы на качество выполняемых работ по благоустройству городской среды.

Около четырех миллионов московских квартир подключено к автоматизированной системе учета потребления ресурсов. Специальные счетчики в зданиях оповещают регуляторов о несоответствии температуры установленным нормам; сообщают о несанкционированных отключениях; позволяют проводить мониторинг потребления коммунальных услуг и осуществлять дистанционное управление отоплением. Умное уличное освещение оптимизирует функционирование объектов осветительной инфраструктуры, облегчает учет и оценку затрат на их эксплуатацию [5].

Приложение «Мобильный мастер» интегрирует электриков и сантехников в единую базу и помогает диспетчерам более эффективно распределять работников. Кроме того, жители могут отслеживать статус своей заявки через приложение «Госуслуги». В городе действует специальный онлайн-сервис по обслуживанию и ремонту цифровых

устройств. Система осуществляет верификацию поставщиков ремонтных услуг и распределяет клиентов в лучшие сервисные центры.

Москву пронизывают более 175 тысяч камер, установленных на улицах, в подъездах и общественных местах. По статистике, система видеонаблюдения использовалась по меньшей мере в 70 % расследований преступлений, совершенных на территории города. Камеры позволяют следить за исполнением коммунальных услуг. В Москве функционирует около 800 площадок сбора данных о шуме, качестве воздуха, промышленных выбросах и погодных условиях.

Мультифункциональная платформа mos.ru является ведущим информационным ресурсом, способствующим взаимодействию граждан и городской администрации. Через платформу «Наш город» жители могут высказывать мнение о работе чиновников и коммунальных служб. На эффективность системы указывает тот факт, что 98 % жалоб удовлетворяется в течение 8 дней с момента регистрации. Платформы «Активный гражданин» и «Электронный дом» являются инструментами обмена мнениями и проведения электронных референдумов районного уровня. Так, например, используя платформу, пользователи проголосовали против дополнительного ограничения скорости в центре. Городская краудсорсинг-платформа позволила привлечь свыше трех тысяч инициативных граждан к разработке и развитию программы «Умный город-2030»; 17 300 граждан приняли участие в разработке новых маршрутов общественного транспорта. С помощью центра персональных уведомлений повышается вовлеченность граждан в городские проекты и мероприятия. Система оповещает горожан о крупных государственных закупках и об изменениях в законодательстве.

В 2019 году были реализованы первые пилотные решения на основе стандартов 5G. Решается задача полного покрытия Интернетом всего общественного городского пространства, включая парки, музеи, библиотеки, больницы, учебные заведения и общественный транспорт. Все эти меры являются

необходимым условием для создания инфраструктуры Интернета вещей и увеличения автоматизации элементов умного городского функционирования.

Умное развитие городской среды требует неумозрительных решений. На сегодняшний день реализация концепции «Умный город» находится на стадии цифровизации урбанистических процессов. Смарт-системы успешно справляются с генерацией больших данных, помогающих городским службам принимать решения. Очевидно, что следующий этап реализации концепции будет связан с увеличением автоматизации функционирования смарт-систем. Актуализируется проблема выработки релевантных подходов к разработке алгоритмов, которые лягут в их основу. Таким подходом может стать имитационное моделирование и агентное моделирование в частности.

Агентный подход ориентирован на репрезентацию сложных систем и процессов снизу-вверх. Элементами в них выступают обособленные субъекты – так называемые агенты. Каждый агент наделяется индивидуальной целевой функцией, которую он стремится оптимизировать, взаимодействуя с окружающей средой и другими агентами по определенным исследователем правилам. Из совокупных действий и взаимодействий агентов рождается представляющая предмет исследования глобальная динамика системы. В рамках одной модели могут фигурировать несколько видов агентов. Например, при моделировании городской логистики в качестве агентов могут выступать пешеходы и автомобили [1].

Академик В. Макаров, А. Бахтизин и др. в работе [4] представляют результаты применения агенториентированного подхода к решению отдельных проблем урбанизма в рамках концепции «Умный город». С помощью первой модели была проанализирована проблема доступности магазинов розничной торговли в разных районах Москвы. Имитационные эксперименты продемонстрировали недостаточную представленность «магазинов у дома» в центральных районах, что, в частности, обусловлено высо-

кой стоимостью аренды земли. Вторая модель прогнозирует динамику и структуру продуктовых корзин социально-значимых учреждений города в зависимости от их наполненности и актуальных медико-диетологических нормативов. Третья модель предназначена для оценки влияния инвестиций в строительство на обеспеченность населения жильем, в зависимости от актуального состояния жилищного фонда. Четвертая модель, в основе которой лежит концепция Хелбинга – Вицека, предназначена для анализа проблем пространственной безопасности [10]. Модель имитирует поведение толпы в чрезвычайной ситуации. В качестве агентов в ней выступают индивиды. С ее помощью производится оценка влияния пространственного дизайна на процесс эвакуации. В частности, было установлено положительное влияние на безопасную эвакуацию специальных мягких препятствий, разрежающих людские потоки, и значение наличия специально обученных спасателей. Последняя модель описывает влияние конфигурации зеленых насаждений на защищенность городских пространств от загрязняющих элементов.

Исследовательская программа применения агенториентированного подхода к оптимизации смарт-систем «Умного города» должна включать в себя следующие этапы:

1) выделение устойчивых локальных систем в сферах социально-экономических отношений городской среды (транспорт, торговля, услуги, ЖКХ, инфраструктура, медицина, образование и др.);

2) концептуализация устойчивых локальных систем городской среды;

– формализация элементарных субъектов в выделенных локальных системах;

– формализация пассивных объектов среды функционирования субъектов локальных систем;

– определение и формализация связей и способов взаимодействия элементарных субъектов локальных систем друг с другом и с объектами, составляющими среды их функционирования;

– определение критериев эффективного функционирования устойчивых локальных систем городской среды;

– концептуализация элементов управления системами городской среды;

– калибровка на основе имитационных экспериментов параметров элементов управления с опорой на разработанные критерии эффективного функционирования устойчивых локальных систем городской среды.

Агенториентированный подход может стать полезным инструментом при разрешении проблем оптимальной локализации социальных и экономических объектов [2], элементов телекоммуникационной и информационной инфраструктуры; алгоритмизации смарт-систем управления транспортной и пешеходной логистикой, курьерской, ком-

мунальной и социальными службами. Польза имитационного моделирования здесь заключается в возможности построения прогнозов развития событий при воплощении проектных решений (например, определения эффектов от реализации различных алгоритмов системы управления дорожным трафиком) до их непосредственного введения в эксплуатацию. Попытки найти идеальную настройку смарт-системы методом проб и ошибок могут повлечь ущерб, значительно превышающий приведенную полезность ее эксплуатации на долгие годы вперед.

*Статья подготовлена в рамках выполнения плана НИР УФИЦ РАН по государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ.*

### Список литературы

1. Бахтизин А.Р. Агенториентированные модели экономики. – М.: Экономика, 2008. – 279 с.

2. Зулькарнай И.У. Мультиагентный подход к разработке региональной политики по размещению учреждений высшего образования по территории страны // Искусственные общества. – 2017. – Т. 12. – № 3-4. – С. 5.

3. Сабельникова М.А., Абдрахманова Г.И., Гохберг Л.М., Дудорова О.Ю. и др. Информационное общество в Российской Федерации. 2019: статистический сборник / Федеральная служба государственной статистики; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики».

4. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С. Имитационное моделирование системы «умный город»: концепция, методы и примеры // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2019. – Т. 15. – № 2 (371). – С. 200-224.

5. Москва–Умный город. Информационные технологии в Москве // TADVISER. Государство. Бизнес. ИТ. 2020. URL: [www.tadviser.ru/index.php](http://www.tadviser.ru/index.php) / Статья: Москва\_Умный\_город\_(Smart\_city).

6. Cocchia A. Smart and digital city: a systematic literature review, in R.P. Dameri, C. Sabroux (Eds.). Smart city: how to create public

and economic value with high technology in urban space // Springer International Publishing, Switzerland. 2014. pp.13–43. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-06160-3\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-06160-3_2)

7. Dameri R. P., Cocchia A. Smart city and digital city: twenty years of terminology evolution // Conference of the Italian Chapter of AIS. 2013. Milano.

8. Eger J.M. Smart growth, smart cities, and the crisis at the pump a worldwide phenomenon // I-Ways. – 2009. – 32 (1): 47–53.

9. Foray D., David P. A., Hall B. Smart specialisation – the concept // Knowledge Economists Policy Brief. – 2009. – No 9 [online] European Commission, Knowledge for Growth Expert Group.

10. Helbing D., Vicsek T. Simulating dynamical features of escape panic // Nature. 2000. vol. 407. 28. pp 487-490.

11. Jara A.J., Genoud D., Bocchi Y. Big Data in Smart Cities: From Poisson to Human Dynamics // Proceedings of the 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA). – 2014. – P. 785-790.

12. Kitchin R. The real-time city? Big data and smart urbanism // GeoJournal. – 2014. – 79 (1): 1–14. <http://dx.doi.org/10.1007/s10708-013-9516-8>.

13. Peltan T. Smart Cities as complexity management // Proc. of the Smart Cities Symposium Prague (SCSP). – 2015. – P. 1-5.

### References

1. Bahtizin A.R. Agent-orientirovannyye modeli ekonomiki. – M.: Ekonomika, 2008. – 279 p.

2. Zul'karnaj I.U. Mul'tiagentnyj podhod k razrabotke regional'noj politiki po razmeshcheniyu uchrezhdenij vysshego obrazovaniya po territorii strany // *Iskusstvennyye obshchestva*. – 2017. – T. 12. - № 3-4. – P. 5.

3. Sabel'nikova M.A., Abdrahmanova G.I., Gohberg L.M., Dudorova O.Yu. i dr. Informacionnoye obshchestvo v Rossijskoj Federacii. 2019: statisticheskij sbornik / Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki; *Nac. issled. un-t «Vysshaya shkola ekonomiki»*.

4. Makarov V.L., Bahtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S. Imitacionnoye modelirovanije sistemy «umnyj gorod»: koncepciya, metody i primery // *Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost'*. – 2019. – T. 15. - № 2 (371). – P. 200-224.

5. Moskva – Umnyj gorod. Informacionnyje tekhnologii v Moskve // TADVISER. Gosudarstvo. Biznes. IT. 2020. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Stat'ya: Moskva\\_Umnyj\\_gorod\\_\(Smart\\_city\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Stat'ya: Moskva_Umnyj_gorod_(Smart_city)).

6. Cocchia A. Smart and digital city: a systematic literature review, in R.P. Dameri, C. Sabroux (Eds.). *Smart city: how to create public*

and economic value with high technology in urban space // Springer International Publishing, Switzerland. 2014. pp.13–43. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-06160-3\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-06160-3_2)

7. Dameri R. P., Cocchia A. Smart city and digital city: twenty years of terminology evolution // Conference of the Italian Chapter of AIS. 2013. Milano.

8. Eger J.M. Smart growth, smart cities, and the crisis at the pump a worldwide phenomenon // *I-Ways*. – 2009. – 32 (1): 47–53.

9. Foray D., David P. A., Hall B. Smart specialisation – the concept // Knowledge Economists Policy Brief. – 2009. – No 9 [online] European Commission, Knowledge for Growth Expert Group.

10. Helbing D., Vicsek T. Simulating dynamical features of escape panic // *Nature*. 2000. vol. 407. 28. pp 487-490.

11. Jara A.J., Genoud D., Bocchi Y. Big Data in Smart Cities: From Poisson to Human Dynamics // Proceedings of the 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA). – 2014. – P. 785-790.

12. Kitchin R. The real-time city? Big data and smart urbanism // *GeoJournal*. – 2014. – 79 (1): 1–14. <http://dx.doi.org/10.1007/s10708-013-9516-8>.

13. Peltan T. Smart Cities as complexity management // Proc. of the Smart Cities Symposium Prague (SCSP). – 2015. – P. 1-5.