

# УМНЫЙ ГОРОД: МНОГОУРОВНЕВАЯ СОЦИАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ МЕГАПОЛИСА

**Кононов Д.А.,**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия  
dmitrykon52@gmail.com*

**Кононова В.М.**

*Национальный исследовательский московский государственный строительный университет, Москва, Россия  
kaleriya-kononova@mail.ru*

*Аннотация. Рассмотрены проблемы проектирования объектов управления мегаполисом с точки зрения концепции «умный город». Описаны цели проектирования, объекты и принципы управления. Приведен краткий обзор умных городов по данным ООН. Предложена социально-ориентированная многоуровневая модель проектирования транспортной инфраструктуры умного города.*

*Ключевые слова: умный город, умная транспортная система, стандарты умного города, математическое моделирование, многоуровневая социально-ориентированная модель.*

## Введение

Настоящая работа посвящена актуальной и модной тематике: эффективному проектированию объектов управления мегаполиса с точки зрения концепции «умный город».

В настоящее время наиболее современной считается концепция развития мегаполисов «умный город». Она представляет собой интеграцию информационных и коммуникационных технологий (ИКТ), а также Интернета вещей (IoT решения) для управления городским хозяйством. В принципе здесь продолжается стратегическая линия Человечества на автоматизацию процессов социального развития.

В 90-х гг 20-ого столетия учеными сформулировано понятие «умный город». Британский институт стандартов (British Standard Institution, BSI) описывает умный город, как «эффективную интеграцию физических, цифровых и человеческих систем в искусственно созданной среде с целью обеспечить безопасное, устойчивое, благополучное и всестороннее будущее для граждан». По официальным данным ООН (Организации Объединенных Наций), на 2018 год 55,3 % населения Земли живут в городах. К 2030 году планируется, что 60 % людей по всему миру будут жить в городах с населением как минимум в 0,5 млн человек. Рост в 5 % за 12 лет – это свидетельство продолжающегося процесса урбанизации.



Рис. 1. Модели управления умным городом

Цели проектирования и управления умным городом многоплановы. В то же время наиболее глобальные из них ориентированы на повышение значений социальных показателей, в том числе уровня жизни горожан (количество и качество потребляемых услуг, продолжительность жизни). Стратегия достижения этих целей заключается во внедрении инновационных систем сбора и хранения больших данных (в том числе на основе современных средств наружного слежения / data-серверы,

автоматических датчиков использования городских ресурсов и т.п.), ее эффективной машинной обработки (ИИ). Указанные пути реализации стратегии предполагают построение материальных и математических моделей, обеспечивающих возможность долгосрочного вариативного планирования.

Объектом управления являются совокупность социально-ориентированных подсистем города, которые включают, в частности, местные отделы информационных систем, школы, библиотеки, транспорт, больницы, электростанции, системы водоснабжения и управления отходами, правоохранительные органы и другие общественные службы.

Комплекс моделей управления функционированием и развитием умного города дан на рис. 1.

Как видим, система моделей управления умным городом достаточно многообразна. Для эффективного моделирования необходимо объединить в единую целостную систему различные социальные процессы, которые содержат техническую, технологическую, производственную, экологическую и социальную страты функционирования и развития мегаполиса. В настоящей работе рассматриваются транспортная компоненты указанного многообразия.

## 1. Краткий обзор умных городов в мире

Городское население, согласно данным ООН [1–3], с наступлением 21 века перешагнуло отметку в 50%, что означает более 4,5 млрд человек использующих инженерные, транспортные сети, системы здравоохранения, образования и другие элементы урбанизированной среды. Грамотное распределение ресурсов и внедрение интеллектуальных систем позволит снизить нагрузку на существующие сети. Обратимся к международным стандартам умного города.

Стандарт ISO 37120:2014 «Устойчивое развитие сообществ – индикаторы городских сервисов и качества жизни» был разработан в 2014 году международной организацией по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO). Стандарт создан для использования городскими администрациями с целью:

- измерения динамики изменения качества городских услуг и качества жизни с течением времени;
- упрощения сравнения городов по широкому ряду критериев;
- распространения лучших практик. Приоритет данного документа отдан энергоэффективности, доступности ресурсов для жителей и экологической устойчивости.

Стандарты Британского института стандартизации (BSI). Британским институтом стандартизации был разработан основной набор стандартов, определяющих направление развития и критерии «умного города»: PAS 180 (определение терминологии «умных городов»), PAS 181 (инструкция по разработке стратегий «умных городов» и сообществ), PAS 182 (концептуальная модель «умного города». Руководство по созданию модели для данных), PD 8101 (руководство по планированию «умных городов») и др.

Перспективными разработками также являются программы Smart Cities Mission (Индия, программа «Сто умных городов»), критерии МСЭ и Европейской экономической комиссии ООН.

Рассмотрим примеры городов, пользующихся данными стандартами, наработками ученых и новыми бизнес-идеями в целях создания современного, удобного мегаполиса.

Сингапур – город-государство с населением 5,8 млн человек внедрил госпрограмму Smart Nation, главным приоритетом которой являются развитие человеческого капитала и адаптация населения к онлайн-культуре. Основными задачами в рамках этой стратегии определены: – создание индивидуальных цифровых решений, – поддержка предпринимательства, – умная мобильность, – умное жилье. Благодаря принимаемым мерам по управлению городом на данный момент Сингапур является лидером по оптимизации транспортной системы, качеству очистки воды и постоянно занимает высокие позиции по уровню жизни и включенности в экономику.

Амстердам в 2009 году запустил проект Amsterdam Smart City в связи с высокой плотностью населения (более 4400 чел/км<sup>2</sup>). Выходя за рамки изначальной цели – приведение города к статусу углеродно-нейтрального, городские власти в кооперации с бизнесом и местными сообществами взяли в рассмотрение такие направления, как экономика замкнутого цикла, внедрение новых бизнес идей на выставках и фестивалях, развитие площадок аренды / проката / повторного использования на базе Amsterdam Sharing City, в том числе и переработка «мусора» в необходимые элементы городской среды (уличная мебель / дорожное покрытие), создание централизованной системы охлаждения для жилых домов Cityzen.

**Сравнительный анализ стандартов «умного города»**

Стандарты, критерии «Умного города»	Сфера												
	Городское управление	Экономика	Транспорт	Телекоммуникации	Энергетика	ЖКХ	Экология	Безопасность	Образование	Здравоохранение	Культура	Туризм	Инновации для городской среды
<i>Стандарт ISO</i>	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	+
<i>Стандарты BSI</i>	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+
<i>Критерии Smart Cities Mission</i>	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-
<i>Критерии МСЭ и Европейской экономической комиссии ООН</i>	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+
<i>Стандарт Минстроя России</i>	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+

*Рис. 2. Сравнительный анализ международных стандартов*

Сан-Франциско обладает сразу двумя титулами – один из самых технологически развитых и зеленых умных городов. Внедрение системы дистанционной оплаты парковки SF Park в виде приложения для смартфона, отслеживающих приборов на общественный транспорт, фотоэлектрических панелей на крышах, информационных дисплеев на остановках позволило преодолеть транспортный кризис мегаполиса: сократилось вдвое время на поиск свободного места, количество пробок и насыщенность воздуха ядовитыми газами. В купе со строгими правилами обработки отходов (до 72% переработки) выбросы углекислого газа снизились на 20% по отношению к 1990 году.

## **2. Московский мегаполис как объект моделирования**

Рассмотрим основания создания и анализа модели московского мегаполиса.

### **2.1. Характеристика московского мегаполиса**

Москва совмещает в себе функции столицы, агломерации и исторического города. Сквозь века менялись как ее население, структура, так и функции в системе расселения. Современный мегаполис с 15 млн горожан и гостями столицы шагает в ногу с последними трендами развития умных городов. Москва является как глобальным центром притяжения инноваций, разнообразных тенденций и людей, именно смешение различных идей позволяет рождаться уникальным, прорывным технологиям. Однако, как и любой другой город, столица сталкивается с вызовами быстро развивающихся городов, такими как транспортные проблемы, необходимость реновации исторического центра, дезинтегрированность окраин, тяготение ресурсов к центру, маятниковая миграция из городов-спутников. Внедряя раздельный сбор мусора, умные камеры, меры по реновации жилого фонда, электронные табло, платную парковку, сервисы по кар- байкшейрингу и др., город стремится улучшить качество жизни населения. Для наиболее полного охвата различных направлений развития мегаполиса были выработаны стандарты «умного города» Минстроем России.

Одним из приоритетов московского мегаполиса и руководства Москвы является развитие транспортной инфраструктуры. За последние годы существенно изменился транспорт: на смену троллейбусам пришли новые электробусы, резко расширилась схема метрополитена, построена Большая кольцевая линия (БКЛ), организованы перехватывающие парковки, оптимизированы маршруты городского транспорта.

На форуме Smart Cities Moscow, состоявшемся в мае 2021 года, Москва стала одной из первых 10 столиц мира, получивших сертификат ISO «умного» города.

### **2.2. Основные принципы Умного города (Smart City)**

Рассмотрим основные принципы проектирования умного города.

#### **1. Микрорайон как градостроительная единица.**

Микрорайон – структурный элемент планировочной структуры достаточный для реализации большинства потребностей человек во время его жизнедеятельности (включая повседневный и периодический спрос на товары и услуги).

#### 2. Автономность города.

Автономность подразумевает наличие собственного имущества, финансовых средств для организации и контроля вопросов местного значения, в том числе и свободных людских ресурсов.

#### 3. Социальная, деловая и культурная самодостаточность.

Определение и развитие бренда города, его культурного кода, сохранение исторических элементов и создание новых смыслов.

#### 4. Разработка по стандартам экологичного строительства.

Проектирование и реставрация зданий и сооружений для улучшения их эколого-конструктивных показателей

#### 5. Использование новейших информационных и коммуникационных технологий.

Создание, внедрение и обновление инновационных систем автоматизации городского хозяйства.

#### 6. Внедрение инновационных технологий энергетики, транспорта и строительства.

Использование безопасных материалов, систем проектирования, планирования, управления и реализации для создания энергоэффективных структур.

### 2.3. Стандарты умной Москвы

Базовые и дополнительные требования к умным городам, в том числе в отношении Москвы (стандарт «Умный город») подразделяются на следующие сферы:

- городское управление (вовлечение горожан в принятие решений городских вопросов, создание «цифрового двойника города» для апробации нововведений в сфере планирования, организация интеллектуального центра городского управления),
- умное ЖКХ (внедрение систем интеллектуального учета коммунальных ресурсов, организация энергоэффективного потребления ресурсов гос. и муниципальных учреждений, автоматизация обработки заявок потребителей и устранение аварийных ситуаций и др.),
- инновации городской среды (автоматизация контроля работы спецтехники, внедрение систем аренды и проката СИМ, публичные Wi-Fi сети),
- умный городской транспорт (внедрение системы автоматической фото-видео-фиксации нарушений правил дорожного движения, системы мониторинга состояния дорожного полотна, создание безопасных и комфортных мест ожидания общественного транспорта),
- интеллектуальные системы общественной безопасности (внедрение систем информирования граждан о возникновении чрезвычайных ситуаций, создание системы интеллектуального видеонаблюдения),
- интеллектуальные системы экологической безопасности (автоматизация системы управления обращения с твердыми коммунальными отходами, система онлайн-мониторинга атмосферного воздуха и воды),
- инфраструктура сетей связи (создание единой городской инфраструктуры сетей связи),
- туризм и сервис (электронные карты жителя города и гостя города, внедрение комплексной системы информирования туристов и жителей города).

Важной задачей функционирования и развития умного города является формирование эффективной системы управления городскими процессами.

Под эффективной системой управления функционированием и развитием понимается такая система, которая обеспечивает:

- безопасное функционирование городского хозяйства;
- рациональное районирование на принципах город без окраин;
- комплексное управление взаимодействующими контурами управления с учетом обратной связи;
- рациональное управление транспортными коммуникациями с учетом пожеланий жителей;
- рациональное использование городской территории;
- обеспечение целей и задачи умного города и т.п.



*Рис. 3. Подсистемы управления умной Москвой*

Построение системы управления с указанными свойствами требует применения специальных средств ее проектирования.

### **3. Математическое моделирование транспортных коммуникаций**

Для обеспечения процессов создания и функционирования надёжных, безопасных, экологически чистых и прогрессивных городов необходима разработка разнообразных программ и стандартов в данной отрасли управления.

Развитие транспортной структуры мегаполиса представляет собой важную, но в то же время сложную многоплановую проблему. С точки зрения теории необходимо создать многоуровневую систему управления многоцелевыми проектами, в которой на верхнем уровне (Центр-планирование) устанавливаются целевые и директивные показатели выполнения комплекса работ, реализуемых на нижних уровнях управления (реализация).

Формирование среды, комфортной для проживания в современном городе, невозможно без развитой системы общественного транспорта. Разработка схемы развития пассажирского транспорта – сложный процесс, связанный с выполнением и сравнением между собой различных вариантов транспортных систем. При этом предлагается использовать многоуровневый системный подход к проектированию эффективной транспортной инфраструктуры умного города.

Эффективное проектирование транспортной подсистемы умного города предлагается осуществлять на основе использования многоуровневой системы расчетов, которая состоит из объектов (Исполнителей) и субъектов управления. Последние формулируют цели и условия проектирования, функционирования и управления [4, 5].

На верхнем (стратегическом) уровне моделирования формулируются основные цели субъектов управления (госорганов), принципы и задачи моделирования. Для Исполнителей формулируются основные варианты (сценарии) развития транспортной инфраструктуры.

Для субъектов стратегического уровня управления:

- определяются его цели, выделяемые ресурсы, задаются условия выполнения заданий, например, заданные сроки;
- определяются возможные Исполнители;
- для каждого Исполнителя определяется целевой сценарий исполнения, содержащий опорные экспертно-значимые события, которые Исполнитель должен обеспечить;
- для каждого Исполнителя проводится мониторинг сценария исполнения;
- для каждого Исполнителя определяются характеристики рассогласования сценариев исполнения и текущего состояния;
- для каждого Исполнителя определяются необходимые средства устранения обнаруженного рассогласования.

Средний уровень моделирования содержит ряд социально-ориентированных моделей организации и поведения транспортной инфраструктуры. Сюда же можно отнести ряд математических моделей экологического менеджмента [6] и теории расписаний [7, 8].

Различные варианты (сценарии) функционирования, в том числе распределения ресурсов транспортной подсистемы перевозок заданного пассажиропотока, могут быть рассчитаны на основе модификаций расширенной транспортной задачи [1] с использованием методик определения основных ее компонентов для конкретного мегаполиса [9–11].

Математическая модель расширенной транспортной задачи, учитывает следующие основные компоненты:

- критерий эффективности управления,
- условия осуществления целей,
- условия осуществления функционирования (ограниченность ресурсов).

Положим

$$F(C, X, \mathbf{a}, \mathbf{b}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}(\mathbf{a}, \mathbf{b}) \quad (1)$$

Формальная задача состоит в поиске

$$\underset{X \in X(\mathbf{a}, \mathbf{b})}{\text{экстремум}} F(C, X, \mathbf{a}, \mathbf{b}) = F(C, X^*(C, \mathbf{a}, \mathbf{b}), \mathbf{a}, \mathbf{b}) \quad (2)$$

в условиях

$$\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} x_{ij} \leq a_i, \quad i = \overline{1, m} = M, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m \alpha_{ij} x_{ij} \geq b_j, \quad j = \overline{1, n} = N. \quad (4)$$

Здесь

$i$  – индекс района отправления;

$j$  – индекс района (фокуса) перемещения;

$X = \{x_{ij} \mid i \in M, j \in N\}$  – матрица количества (распределение) выделенных транспортных средств по направлению ( $i \rightarrow j$ ) (планов);

$C = \{c_{ij} \mid i \in M, j \in N\}$  – матрица удельных эффектов по направлениям;

$A = \{\alpha_{ij}\}$  – вместимости транспортных средств по направлению ( $i \rightarrow j$ );

$\mathbf{a} = \{a_i \mid i \in M\}$  – вектор ограниченных ресурсов;

$\mathbf{b} = \{b_j \mid j \in N\}$  – вектор цели (объем перемещения пассажиропотоков);

$\mathbf{z} = (C, A, \mathbf{a}, \mathbf{b})$ .

Таким образом, для проектирования эффективности транспортной системы перевозок следует определить следующую исходную информацию:

- 1) о районировании;
- 2) о ресурсах;
- 3) о наличии и вместимости транспортных средств;
- 4) о пассажиропотоках.

Допустимым распределением транспортных ресурсов будем называть распределение  $X$ , которое удовлетворяет ограничениям (3)–(4).

Зависимость допустимого распределения ресурсов от вектора  $\mathbf{z} = (C, A, \mathbf{a}, \mathbf{b})$  предполагает исследование различных вариантов (сценариев) функционирования и развития транспортной инфраструктуры [5].

Социальная ориентированность предложенной модификации транспортной задачи заключается в изменении условий поиска оптимального решения, в том числе условий осуществления перевозок (например, ограничении заполняемости транспортных средств, времени перемещения и т.п.). Также следует сформулировать ряд социально значимых показателей эффективности управления перевозками  $F(C, X, \mathbf{a}, \mathbf{b})$ .

Нижний уровень моделирования является информационно обеспечивающим для верхних уровней. Он содержит методики определения вариантов значений конкретных показателей планирования.

Так, для задачи оптимизации пассажиропотоков следует [11]:

- определить общую и транспортную подвижность населения города, годовой объем перевозок и среднюю длину поездки в целом по городу;
- построить матрицу корреспонденций;
- построить картограмму пассажирских потоков и варианты схемы маршрутов на транспортной сети;

- произвести технико-экономическое сравнение различных систем пассажирского транспорта и выбрать оптимальную для данного города;
- определить требуемое количество транспортных средств для каждого вида транспорта, их количественное соотношение.

Совместное взаимодействие моделей всех уровней создаст целостную картину умной транспортной системы.

#### 4. Заключение

Предложенная схема (эскизный проект) моделирования умной транспортной системы представляется перспективной. Она позволяет (в случае детальной проработки) объединить усилия различных проектных структур умного города с тем, чтобы на основе комплексного системного подхода разработать и внедрить практику управления новые инновационные методы.

В то же время следующим этапом исследования является решение транспортной задачи с учетом времени поставок, учет неопределенности функционирования и т.п.

#### Литература

1. *Алферов О.Л.* Концепция «УМНЫЙ ГОРОД» – проект интеллектуальной инфраструктуры среды обитания людей // Социальные и гуманитарные науки. Отечественная и зарубежная литература. Сер. 4, Государство и право: Реферативный журнал. 2021. №1. <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-umnyu-gorod-proekt-intellektualnoy-infrastruktury-sredy-obitaniya-lyudey> (дата обращения 10.06.2024).
2. *Макаренко К.В., Логиновская В.О.* «Умный город»: стандарты, проблемы, перспективы развития // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2019. №3. <https://cyberleninka.ru/article/n/umnyu-gorod-standarty-problemy-perspektivy-razvitiya> (дата обращения 10.06.2024).
3. *Федоненко М.В.* Опыт развития «умных» городов в современном мире // Социально-экономические явления и процессы. 2019. №2 (106). <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-razvitiya-umnyh-gorodov-v-sovremennom-mire> (дата обращения 10.06.2024).
4. *Исмаилов Ж.И., Кононов Д.А.* Новый Шелковый путь: эффективное управление контейнерными перевозками в условиях неопределенности // Труды 12-й Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2019, Москва). – М.: ИПУ РАН, 2019. – С. 613-620.
5. *Ismailov Zh., Kononov D.* Integrated Management System for Rail Transport: Planning of Cargo Turnover in Conditions of Uncertainty // Proceedings of the 11th International Conference "Management of Large-Scale System Development" (MLSD). – Denvers: IEEE Catalog Number CFP18GAE-ART, 2018. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8551807>.
6. *Kononov D.* Environmental Emergency Management // IFAC-PapersOnLine. – 2019. – Vol. 52, Iss. 25. – P. 35-39.
7. *Kononov D., Furugyan M.* Allocation of non-uniform complex of resources in production systems. Scheduling and correction of deadlines // E3S Web of Conferences. Paris: EDP Sciences, 2024. – Vol. 474. Article 01051. [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2024/04/e3sconf\\_icite2023\\_01051/e3sconf\\_icite2023\\_01051.html](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2024/04/e3sconf_icite2023_01051/e3sconf_icite2023_01051.html).
8. *Kononov D., Furugyan M.* Control of a Complex of Works in Multiprocessor Real-time ACS / Proceedings of the 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA2019, Lipetsk). Lipetsk: IEEE, 2019. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8947570>.
9. Постановление Правительства Москвы «Об утверждении норм и правил проектирования планировки и застройки Москвы МГСН 1.01-99» от 25.01.2000 № 49 // Комитет по архитектуре и градостроительству г. Москвы, 2000.
10. *Сафронов Э.А.* Транспортные системы городов и регионов. – М.: АСВ, 2007. – 285 с.
11. *Власов Д.Н.* Проектирование системы пассажирского транспорта города [Электронный ресурс]: методические указания по выполнению курсовой работы по дисциплине «Проектирование транспортных систем» для студентов бакалавриата направления подготовки 07.03.04 Градостроительство / М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т, каф. проектирования зданий и градостроительства; сост. Д.Н. Власов. 2-е изд., перераб. и доп. – Электрон. дан. и прогр. (5 Мб). – М.: НИУ МГСУ, 2016. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>.