# ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ ГОРОДА: СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ И УПРАВЛЕНЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ

**Гафарова Е. А.**

кандидат экономических наук, доцент, старший сотрудник сектора экономико-математического моделирования, Институт социально-экономических исследований УНЦ РАН (Россия), 450054, Россия, г. Уфа, Проспект Октября, д. 71, gafarovaea@mail.ru

**Газизова К. А.**

аспирант, Институт социально-экономических исследований УНЦ РАН (Россия), 450054, Россия, г. Уфа, Проспект Октября, д. 71, kseniya-lider@yandex.ru

УДК 338.24
ББК 65.050.23

**Цель.** Изучение современных отечественных имитационных моделей развития городских систем и возможности их применения в качестве систем поддержки принятия решений.

**Методы.** Дан небольшой экскурс в историю имитационного моделирования городского развития в России. Рассмотрены модели пространственного и динамического городского развития. Особенно подробно в работе исследованы современные модельные разработки городского развития на основе концепции системной динамики.

**Результаты.** Представлен обзор современных отечественных разработок и основных направлений в области имитационного моделирования развития города, показана результативность использования имитационного моделирования в управлении городскими системами.

*Ключевые слова:* имитационное моделирование, модели городского развития, системная динамика, пространственные модели развития города.

# SIMULATION MODELS OF URBAN DEVELOPMENT: SOCIO-ECONOMIC AND ADMINISTRATIVE ASPECTS

**Gafarova E. A.**

Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, senior researcher of Economic-Mathematical Modeling Sector, Institute of Socioeconomic Research, USC RAS (Russia), 71, Oktyabrya prosp., Ufa, Russia, 450054, gafarovaea@mail.ru

**Gazizova K. A.**

postgraduate student, Institute of Socioeconomic Studies, Ufa Science (Russia), USC RAS (Russia), 71, Oktyabrya prosp., Ufa, Russia, 450054, kseniya-lider@yandex.ru

**Purpose.** The study of modern domestic simulation models of urban systems development and their potential use as decision-taking support systems.

**Methods.** A historical overview of simulation of urban development in Russia is provided. The models of spatial and dynamic urban development are considered. Current modeling findings in urban development based on the concept of system dynamics are studied in greater detail in the article.

**Results.** An overview of modern domestic findings and key trends in the field of simulation of urban development is provided and the efficiency of the use of simulation modelling in urban systems management is shown.

*Key words:* simulation models, urban development models, system dynamics, spatial models of urban development.

© Гафарова Е. А., Газизова К. А., 2015

**Введение**

К середине XX века в мире обозначилась очень серьезная и, как оказалось, трудно поддающаяся решению проблема, актуальная и сегодня, – неконтролируемый рост городов. В России урбанизация сопровождается укрупнением и пространственным расширением самих городов и ростом числа их жителей. На рис. 1 показана для сравнения динамика численности городского и сельского населения Российской Федерации в 1970–2014 гг. За указанный период численность городского населения увеличилась на 32%, сельского – сократилась на 25%. При этом бурный рост численности городского населения в 73% наблюдался за период 1970–1992 гг. Дальнейшее сокращение численности городского населения, продолжавшееся до 2007 года, связано с сокращением общей численности населения России, а также с административным преобразованием поселков городского типа в сельские населенные пункты. На сегодняшний день статистика такова: более 74% россиян связали свою жизнь именно с городами.

Урбанизация повышает качество жизни населения, но вместе с тем порождает демографические, социально-экономические, экологические, а также градостроительные проблемы города: изменение демографической структуры как занятого населения, так и населения в целом; увеличение миграции; социальное расслоение населения города; необходимость привлечения дополнительных инвестиций в экономику города; изменение спроса и цен на жилую недвижимость; несовершенство инженерно-технической, энергетической, транспортной, телекоммуникационной и социальной инфраструктуры, которые зачастую проектировались без учета роста численности населения; загрязнение атмосферы, водных источников и почвы городской территории; неравномерность застройки и разрывы территории города; распространение инфекционных заболеваний и др. Следует заметить, что вопросы устойчивого социально-экономического развития городских округов приходится решать в условиях хронического дефицита бюджетных средств.

Поэтому анализ и прогнозирование комплексного социально-экономического развития города должны являться важными стратегическими составляющими его управления. Очевидно, что для реального города невозможно произвести практический эксперимент, так как это окажется дорогостоящим и опасным мероприятием, но можно организовать сравнение различных вариантов стратегий управления на имитационных математических моделях с использованием ЭВМ. Имитационный подход в настоящее время активно распространяется среди ученых при моделировании территориальных систем вообще и городских – в частности.

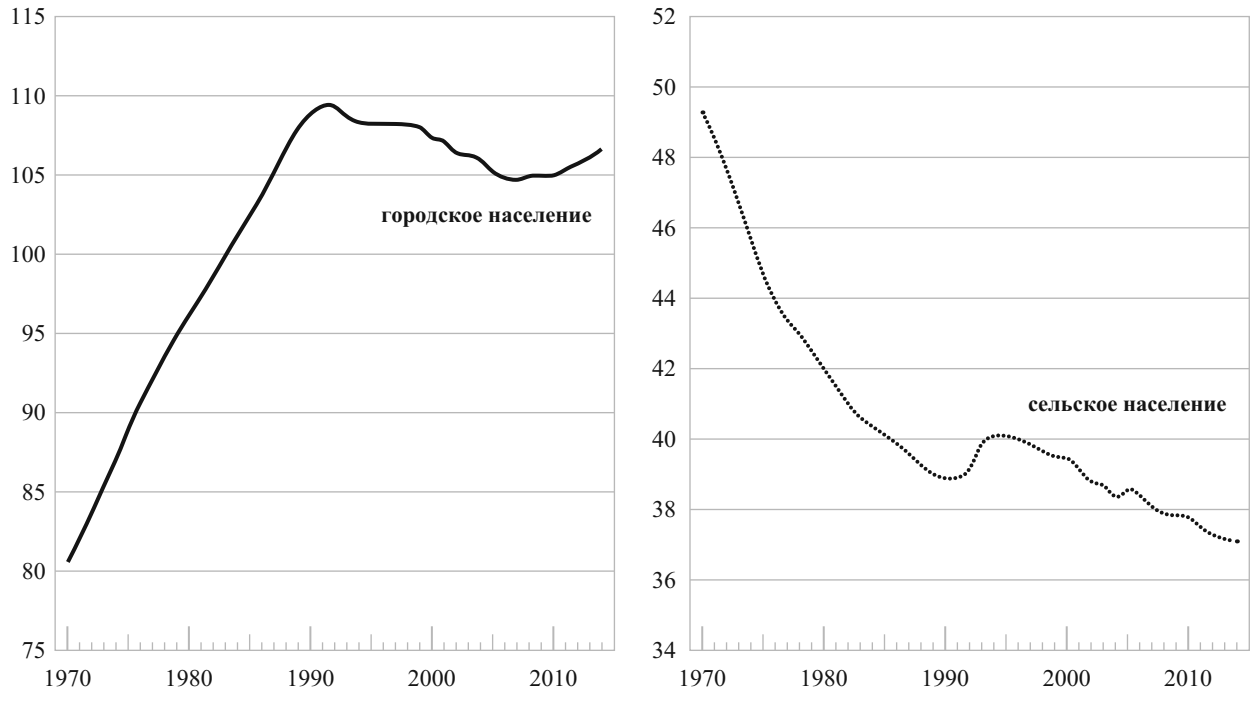



*Рис. 1.* **Динамика численности городского и сельского населения в России в 1970–2014 гг., млн. чел.**

**Имитационные методы моделирования развития городских систем**

В соответствии с [1, с. 24], под имитационным моделированием будем понимать разработку и выполнение на компьютере программной системы, отражающей структуру и функционирование (поведение) моделируемого объекта или явления во времени. Имитационное моделирование позволяет воспроизвести развитие города в динамике и (или) в пространстве на основе результатов анализа наиболее существенных взаимосвязей между его элементами.

Применительно к задачам моделирования развития городских систем могут успешно применяться все парадигмы имитационного моделирования: дискретно-событийное моделирование, системная динамика и агент-ориентированное моделирование (или агентные модели, мультиагентные модели). Парадигма системной динамики подразумевает под собой агрегированное исследование системы и ее взаимосвязей с концентрацией на методах управлений процессами. При компьютерном моделировании системная динамика реализуется с помощью графических диаграмм накопителей и потоков, отражающих причинно-следственные связи в моделируемой системе. Математически модель системной динамики представляет собой систему дифференциальных и алгебраических уравнений.

Самый молодой и ныне бурно развивающийся из имитационных методов – агент-ориентированное моделирование. В агент-ориентированных моделях оперируют совокупностью агентов с определенным набором свойств и их поведением, которое зависит от среды агентов. Таким образом, основными элементами абстрактной типовой агент-ориентированной являются: «агенты, охватывающие все возможные характеристики неоднородного поведения; их среда, определяющая представления и действия агентов; механизмы взаимодействия между агентами, включая прямую и непрямую передачу информации между ними. Такая возможность реализуется при помощи регулирования способности одного агента узнавать о поведении другого» [2].

Какой метод имитационного моделирования ни был бы выбран, первым шагом в реализации применения имитационного моделирования выступает проведение системного анализа исследуемого процесса, вторым – приложение полученных знаний в компьютерную среду. Эффективное применение возможностей современных ЭВМ реально только, когда исследователь ставит во главе цепи системного анализа общее описание проблемы или ситуации и пути ее решения. Методы системного анализа широко популяризируются и быстро развиваются, что является и достоинством, и недостатком одновременно: по мере усложнения этой дисциплины порой утрачивается понимание ее исходного смысла и содержания.

Имитационный подход активно используется в настоящее время для моделирования территориальных систем, в особенности региональных (см., например, [3]). Учитывая обозначенную растущую проблему урбанизации, существует реальная потребность в создании моделей, позволяющих исследовать комплексное развитие городов и выработать стратегии управления ими. Исследование развития городской системы возможно по следующим направлениям: пространственное развитие, динамическое развитие и пространственно-динамическое развитие. Модели пространственного развития берут свое начало от работы И. Лоури [4, с. 34–37] и включают функционально-территориальное описание города. При этом пространственная структура города формируется пространственными материальными объектами, а функциональная структура – взаимосвязями этих объектов [5]. При таком подходе множество объектов градостроительной среды можно описать дискретными клеточными автоматами, используя при этом такую концепцию имитационного моделирования как дискретно-событийное моделирование. Преимуществом пространственных моделей является учет территориальной взаимосвязи между подсистемами города. В качестве недостатка таких моделей следует отметить прежде всего необходимость сбора большого объема статистической информации по пространственным объектам города, а также невозможность анализа динамики городского развития.

Динамические модели развития города основаны на концепции системной динамики, предложенной Дж. Форрестером 60-х годах прошлого века. Преимущества динамических моделей городского развития следующие: возможность описания динамики городской системы; небольшое по сравнению с моделями пространственного развития число переменных и, как следствие, более легкая реализация модели; использование нелинейных связей между элементами модели. В силу этого системно-динамические модели на практике оказались наиболее распространенными. К недостаткам динамических моделей можно отнести отсутствие учета территориальной взаимосвязи между подсистемами города, а также произвольность выбора нелинейных зависимостей между подсистемами города [4, с. 40–44].

Третье направление является обобщением первых двух и позволяет описать функционально-территориальное развитие города во времени. В настоящее время это направление реализуется методами агентного моделирования. Пространственно-динамическая модель компенсируют недостатки первых двух подходов за счет снижения уровня ее детализации.

**Практика имитационного моделирования городского развития в России**

Волна разработок по имитационному моделированию наступила вследствие образовавшегося кризиса в области применения традиционных математических методов моделирования в начале-середине 60-х годах прошлого столетия [6]. Консервативные математические методы, не позволяющие широко использовать ЭВМ, были вытеснены более гибкими и компьютеризированными имитационными методами моделирования. Методы имитационного моделирования применительно к задачам анализа развития городских систем в нашей стране стали активно применятся с середины 1970-х годов. Так, в 1976 г. проходила I школа-семинар «Проблемы моделирования городов», материалы которой содержатся в [4]. В работе школы-семинара принимали участие ученые Всесоюзного научно-исследовательского института системных исследований (в наст. время – Институт системного анализа РАН), Центрального экономико-математического института, Института проблем управления и представили доклады по вопросам построения и анализа математических моделей городских систем, моделирования пространственной структуры городской системы, моделирования транспортной системы, демографическим исследованиям в городе и др. Примечательно, что работы авторов тех лет по данной тематике отличаются от современных детальным, строгим и качественным описанием всех функциональных зависимостей для выбранных показателей.

Остановимся на нескольких моделях, представленных на семинаре. Так, в работе [4, с. 52–60] Т. А. Ворон предложена имитационная модель для прогнозирования динамики численности населения урбанизированной территории. Модель включает следующие блоки: рождаемость, смертность, миграция, экология, транспорт, притягательность города. В каждом демографическом блоке (рождаемость, смертность, миграция) рассматривается распределение населения по полу, возрасту, национальности. Следует отметить, что в работе исследовано влияния на уровень рождаемости множества факторов городской среды: уровень жилищной обеспеченности, уровень образования и занятости женщин, уровень материальной обеспеченности, число брачных пар. Вспомогательные блоки (экология, транспорт, притягательность города) используются для расчета уровня смертности, заболеваемости и миграции. И. К. Паниной, Б. Л. Шмульяном [4, с. 34–37] предложена пространственная модель городской системы, являющаяся модификацией модели Лоури и включающая следующие функциональные элементы: население, рабочая сила, обслуживание, транспорт. Другая модель этого автора [4, с. 40–44] является обобщенной, в ней исследуется динамика территориального развития города. При этом город разбивается на мелкие территориальные районы, затем для каждого района определяется потенциал, характеризующий его привлекательность и зависящий от множества факторов, таких как плотность жителей, развитие промышленности, обслуживания, озеленения, транспортной сети и др. Скорость развития каждого района города определяется как функция от его потенциала. Имитационная модель Е. И. Лазаревой [4, с. 61–67], апробация которой осуществлялась на данных по г. Ростову, является пространственно-динамической и предназначена для анализа динамики качества городской среды с привязкой к территории города в системе координат на плоскости. Модель включает следующие блоки: инфраструктура (экономика, транспорт, сеть коммунально-бытового обслуживания, жилой фонд, здравоохранение); экология; демография; управление. В работе описан алгоритм расчета уровня загрязнения атмосферы урбанизированной территории в зависимости от географических и метеорологических условий, а также пересчет его в каждый последующий момент времени. Динамика качества окружающей среды исследовалась автором для дальнейшего анализа влияния состояния среды на здоровье жителей.

Наибольший импульс моделирование городского развития в России приобрело в 80-е годы прошлого столетия. Большой вклад в развитие данной тематики внесли М. Г. Завельский, Ю. С. Попков, В. И. Ресин, Н. П. Тихомиров, Е. Ю. Фаерман, Б. Л. Шмульян и др. В этой связи можно отметить монографию [5], которая является результатом многолетней работы авторов над данной тематикой и в которой исследуются феномены городского развития, выделяются регуляторы урбанистического развития, обсуждаются проблемы моделирования городских процессов, решаются прикладные задачи, связанные с функционально-пространственным развитием г. Москвы. В настоящее время разработки моделей развития города ведутся отдельными учеными академических и отраслевых институтов, а также вузов. Рассмотрим некоторые разработки моделей городского развития.

**Пространственные имитационные модели развития города**

Пространственная модель развития города обычно обеспечивает исследование социальной, экономической, транспортной, культурной и других структур территории города; обоснование градостроительных решений; разработки экономической политики города; комплексной диагностики городской территории; вариантного планирования пространственного развития и др.

Создание пространственной имитационной модели развития города потребует от разработчиков:

- создания проблемно-ориентированной ГИС на основе базовой ГИС города путем построения классификатора и моделей объектов заданной предметной области;
- сбора большого объема статистической информации по пространственным объектам заданной предметной области;
- проведение анализа пространственных данных;
- моделирование пространственных данных для объектов заданной предметной области для выявления взаимосвязей;
- ввод и централизованное хранение географической информации;
- разработку программного обеспечения, поддерживающего визуализацию, пространственный анализ данных, возможность проведения экспериментов и др.;
- оценку эффективности принимаемых решений на основе моделирования.

В качестве примера можно привести пространственную модель города Urban Net Opportunities [7], реализованную в программная платформе .Net Framework с интеграцией СУБД MySQL и ГИС MapInfo. Модель [7] прежде всего предназначена для территориального планирования города в малых масштабах на основе социально-экономическими исследования, выявления проблемных и приоритетных направлений пространственного развития города. Информационное наполнение модели осуществлялось на реальных данных по г. Перми с внедрением ГИС-карты. На карту города нанесены водные объекты, улично-дорожная сеть, объекты жилищной застройки, объекты экономической деятельности, объекты социальной инфраструктуры, остановки общественного транспорта, автостоянки и др. Для каждого объекта застройки имеется информация о числе жителей или посетителей. Модель позволяет проигрывать сценарии по оптимизации размещения социально-экономического объекта на карте города с учетом наполняемости сети социальных объектов. В частности, реализованы алгоритмы планирования размещения объектов образования с учетом особенностей районов города, алгоритмы расчета перспективной численности населения по районам города с учетом строительства нового жилья, алгоритмы оптимального расположения пожарных участков на территории города и др. Кроме того, программный продукт позволяет определить бюджетную эффективность для каждого рекомендуемого градостроительного решения. Что касается функционального наполнения модели, то эта сторона не описывается автором. Считаем, что модель представляет интерес и требует дальнейшего развития в плане пространственного моделирования города в динамике.

**Теория городских взаимодействий Дж. Форрестера**

Разговор об системно-динамических моделях, особенно, если он касается городской системы, не может обойтись без упоминания и описания работы основоположника этого направления исследований. Дж. Форрестер [8] исследовал проблемы города на основе использования идей системного анализа и создал модель, с помощью которой отслеживал городское развитие в долгосрочной перспективе. В качестве предмета исследования в книге вводится такое понятие как «урбанизированная территория». Урбанизированная территория постоянно находится в динамике и по мере эволюции переходит между состояниями роста, равновесия и упадка.

Автор выделил три основные агрегированные подсистемы урбанизированной территории, которые являются основными регуляторами процессов роста и стагнации города: деловая (предпринимательская) сфера, жилой фонд и население. Внешняя среда, по его мнению, не имеет решающего воздействия на городскую систему, она самостоятельна и самодостаточна. Кроме того, предполагается, что отдельный город мал, чтобы воздействовать на окружающую среду. Таким образом, границами модели являются включенные в модель три компонента, поведение и взаимодействие которых составляют состояние экономики.

Основоположник метода исследовал изменения ключевых показателей экономического состояния, таких как уровень безработицы, размер налогов. В соответствии с моделью, жизненный цикл города составляет 250 лет. За этот период город строится с пустого места и, миновав периоды роста и зрелости, подходит к периоду стагнации. Периоду внутреннего развития города и его росту соответствуют первые сто лет развития. В этот период количество новых предприятий, сверхдоходный жилой фонд, численность населения с высоким уровнем жизни достигают пика либо приближаются к максимуму. Старение города наступает между 100-м и 140-м годами, при этом доходные жилищные фонды стареют, пополняя дешевый фонд, в цикле развития предприятий наступает упадок производства. Это состояние стабилизируется лишь к 200-му году развития города.

Муниципалитеты предпринимают много самостоятельных попыток устранить возникающие проблемы в городе с помощью введения административных программ: финансовая поддержка предприятий, строительство дешевого жилья, обеспечение работой и другие. Чтобы разобраться, почему эти, казалось бы, правильные и очевидные меры не сработали, в модели проводится анализ этих программ путем проигрывания модели с момента наступления равновесных условий.

В результате проведенного анализа выяснилось, что причины неуспеха проводимых властями города программ являются интуитивные представления о строении сложной системы. Модель показала, что последствия административных программ колеблются от неопределенных до крайне отрицательных. Так, например, программа строительства дешевого жилья не только не решает проблемы расселения, но и стимулирует приток не полностью занятого населения, сдвигая пропорции населения к еще более худшему состоянию, чем при состоянии стагнации. Анализ влияния различных управленческих решений выявил следующие результаты.

1. Строительство любого дополнительного жилья становится убыточной мерой, так как ухудшает условия для строительства новых предприятий.

2. Строительство новых предприятий имеет положительный эффект на жизнедеятельность города. Однако эта мера не достаточна и не способна вывести город из состояния стагнации.

3. Программа сноса предприятий, пришедших в упадок, приводит к неопределенному результату: имеются как благоприятные эффекты (число развитых предприятий растет, уменьшается налоговая ставка), так и не очень (снижается численность населения, жилой фонд уменьшается).

4. Программа сноса трущоб в целом приводит к положительным результатам : увеличивается число развитых предприятий, увеличиваются размеры сверхдоходного и доходного жилья и т. д.);

5. Программа подавления жилого строительства вместе с программой сноса трущоб приводит к увеличению квалифицированных кадров, повышению предпринимательской деятельности в городе и другим положительным эффектам.

6. Программа стимулирования предпринимательской деятельности и снос трущоб дает практически такие же результаты, как предыдущая программа.

Закономерным шагом в исследовании модели является разработка административных программ, способных справиться с проблемой стагнации города, привести к его возрождению. По мнению самого автора, работа не может предложить конкретные решения для устранения многочисленных проблем городов, а скорее обнажает эти проблемы. Выводы о действенности тех или иных административных программ неприменимы к любому другому городу, так как каждый город в свою эпоху отличается собственными индивидуальными характеристиками. Поэтому для каждого случая необходимо проведение анализа на выявление элементов структуры конкретной системы: внешних границ замкнутой системы, цепей обратной связи, переменных-уровней, переменных-темпов.

**Системная динамика в моделях развития города**

Для разработки системно-динамической модели необходимо определить принципы построения модели, а также ее структуру, которая включает в себя модели подсистем и связи между ними. Модель системной динамики может включать такие, например, подсистемы: население, трудовые ресурсы, производственный сектор, инфраструктура, экология, финансы, управление, внешняя среда и т. д. Каждая подсистема в свою очередь должна описываться множеством переменных (входных и выходных). Например, подсистема «население» обычно включает численность населения, его структуру и движение: численность постоянного населения (возможно в разрезе половозрастной структуры), рождаемость, смертность, миграция и др.

В свою очередь программная реализация модели системной динамики потребует решения следующих проблем:

- создание единой формализованной модели города и его подсистем (в укрупненном виде, без детализации их структурного состава) и их взаимодействие на основе системного анализа;
- определение состава входных и выходных параметров, сбор динамической статистической информации по выбранным показателям каждой подсистемы;
- создание формализованной модели (например, средствами эконометрики) для каждой подсистемы, определение структурного состава, принципов функционирования подсистемы и ее компонент;
- реализация модели системной динамики в специализированном программном продукте, ее калибровка, а также валидация (проверка правильности модели) и др.;
- проведение экспериментов для заданной проблемы;
- оценка эффективности принимаемых решений на основе моделирования.

Обратимся к российским разработкам системно-динамических моделей нашего века [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18]. Среди этих работ большая часть носит теоретический характер, в них описываются лишь общие принципы системной динамики и приводится описание выделенных подсистем. Описание внутренней структуры модели и взаимодействий внутри системы зачастую опускается, отсутствует также интерпретация полученных с помощью модели результатов, не раскрываются вопросы проверки адекватности модели конкретной городской системе и ее чувствительности к изменениям переменных. Такое представление результатов можно попытаться объяснить ориентацией авторов на широкую читательскую аудиторию.

Но с практической точки зрения для заинтересованных этой проблематикой лиц такие работы, к сожалению, не представляют интереса. В качестве примеров работ, содержащих детальное описание блоков модели и их системных показателей с формулами для расчета, представление системных потоков диаграмм, можно указать лишь [9, 10, 18]. Рассмотрим в хронологическом порядке модели на основе системной динамики.

Так, в работе [13] представлена лишь концептуальная схема модели, реализованной в Powersim и апробированной на статистических данных г. Апатиты, приводится краткое описание анализа чувствительности относительно демографической подсистемы и сжатое описание результатов экспериментов по исследованию влияния экономического потенциала (при этом автором не раскрывается это понятие) на распределение населения по доходным группам до 2020 года. Перечень показателей для каждой подсистемы, а также перечень входных и выходных переменных не приводятся. Не приводятся также и формулы взаимосвязи показателей, потоковые диаграммы, которые необходимы для более глубокого понимания модели.

В модели «Экогород» [10], реализованной средствами программы VENSIM, исследуется взаимодействие подсистем, загрязняющих окружающую среду, и подсистем, наиболее подверженных влиянию загрязнения. Городская система представлена тремя подсистемами, которые взаимодействуют через специальные модели: экономическая подсистема (модель изменения экономического потенциала города; модель городской энергетики; модель функционирования городского ЖКХ); экологическая подсистема (модель расходования природных ресурсов; модель загрязнения окружающей среды); социальная подсистема (модель изменения численности населения; модель занятости и доходов населения; модель финансового обращения). В качестве информационного обеспечения модели использовались статистические данные по г. Йошкар-Ола. Произведены сценарные прогнозы развития трех выделенных подсистем в зависимости от внедрения энерго- и водосберегающих технологий и финансирования природоохранных мероприятий.

Авторы [14] описывают концепцию имитационной модели города и приводят лишь общую структуру модели, включающую подсистемы: население, производственная сфера, непроизводственная сфера, экология, пространство, финансы, внешняя среда.

Модельный комплекс [9], в котором совмещаются агентный и системно-динамический подходы имитационного моделирования в программной среде AnyLogic, предполагает прогноз социально-экономических последствий реорганизации промышленных территорий г. Москвы с учетом его бизнес-стратегии. Агентная часть модели обеспечивает визуализацию процесса реорганизации промышленной территории с разбиением ее на зоны различной функциональности (промышленная зона, жилищный комплекс, общественный комплекс, лесопарковая зона). Системно-динамическая модель включает такие подсистемы, как территория, промышленные предприятия, жилой фонд, общественные организации, природный комплекс, уровень загрязнения окружающей среды, население и экономика. Позволяет проигрывать сценарии развития территории: сохранение существующего положения; преимущественное развитие промышленных предприятий, жилищного строительства или природного комплекса, а также предусматривает процедуру согласования интересов всех участников переговоров (город, отрасль, население).

Модель «урбоэффекта» [18] предназначена для комплексной оценки эффективности социально-экономического развития крупного города, позволяет определить границы эффективности развития города, апробирована на официальных статистических по г. Санкт-Петербургу. Автор предлагает формулы для расчеты таких показателей, как «границы эффективности развития города по численности населения», «стоимость роста города». В работе представлены сценарные прогнозы на долгосрочную перспективу удельных затрат на содержание и развитие городского хозяйства, ВРП от численности постоянного населения, стоимости роста города. Также предлагаются меры по урегулированию развития крупного города, среди которых введение платы с мигрантов (что позволит ограничить численность населения города, снизить безработицу и др.), увеличение доли расходов городского бюджета в развитие инженерно-транспортной и социальной инфраструктуры города и др.

Работа [17] в тезисной форме предлагает читателям краткое описание структуры модели (экономическая подсистема, экологическая подсистема, земельная подсистема) устойчивого развития города на 20-летний период, апробированной на данных г. Королева, а также перечень реализованных сценариев вобласти градостроительной политики, экономического и экологичсекого регулирования.

Автор [15] описывает концепцию и основные блоки (внешняя среда, население, инфраструктура, градообразующие предприятия, местный и вышестоящий бюджеты, местная промышленность, малый и средний бизнес) системно-динамической модели экономики города, направленной на решение конкретной задачи – определения размера финансовой помощи из региональных и федеральных бюджетов. На выходе такая модель будет способна строить прогнозы на средне- и краткосрочную перспективу в зависимости от комплексного инвестиционного плана, выбранного муниципальными властями.

Модель [11], апробированная на основе статистических данных г. Перми, включает управленческую, экономическую, социальную, пространственную, финансово-бюджетную и экологическую подсистемы. В качестве критерия эффективности всей системы выбран рост численности постоянного населения, для которого приводится весьма сомнительное эконометрическое линейное регрессионное уравнение, полученное на основе ежемесячных данных. Рассмотрим выявленные авторами факторы, влияющие на численность городского населения: средняя заработная плата (обратная связь), общая площадь жилых помещений на одного жителя (обратная связь), выбросы загрязняющих веществ в атмосферу (прямая связь), число зарегистрированных преступлений (прямая связь), число врачей (прямая связь), количество мест в культурно-досуговых учреждениях (обратная связь). Цель проделанной работы автор видит в разработке целевых программ, положительно влияющих на поведение всей системы в соответствии с выбранным критерием. Следуя такой логике и руководствуясь моделью, можно предложить прекратить ввод нового жилья, увеличить выбросы в атмосферу, повысить уровень преступности и ожидать увеличения численности постоянного населения в городе.

В работе [16] приводится описание системно-динамической модели «Анализ эконагрузки», предназначенной для моделирования антропогенной нагрузки на территорию города. Модель реализована в Vensim и апробирована на данных по г. Волгограду. Большая часть статьи посвящена описанию принципов методологии системной динамики, концепция же собственной разработки представлена в общих чертах, полное описание структуры и функциональных блоков модели, как и описание взаимосвязей отсутствует.

Работа [12] представляет новое в России направление в имитационном моделировании – городскую логистику и содержит только описание предполагаемой модели: логистическая инфраструктура, воздействие на окружающую среду, управление (меры), логистический уровень сервиса.

Таким образом, имитационные модели развития городских систем активно используются в настоящее время и показывают высокую результативность в решении проблем урбанизации. В тоже время, как показало проведенное исследование, ощущается недостаток отечественных модельных комплексов, доведенных до компьютерной реализации и апробированных на данных конкретного города. В связи с этим следует широко распространять практику создания имитационных моделей для анализа и прогнозирования развития российских городов и использовать их в качестве системы поддержки принятия решений для муниципальных органов власти.

**Литература:**

1. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 400 с.
2. Абрамов В. Агент-ориентированное моделирование и имитационное моделирование: перспективы в области информационных технологий [электронный ресурс] // Лаборатория искусственных обществ: сайт. URL: http://www.artsoc.ru/digest/agent-oriented-models/index.php?ID=181 (дата обращения 11.02.2015 г.).
3. Гафарова Е. А. Имитационные модели комплексного регионального развития // Управление большими системами. 2013. № 45. С. 206–213.
4. Моделирование городских систем. Труды I школы-семинара. М., Всесоюзный научно-исследовательский институт системных исследований, 1979. 216 с.
5. Ресин В. И., Попков Ю. С. Развитие больших городов в условиях переходной экономики. Системный подход. М.: Едиториал УРСС, 2000. 328 с.
6. Лычкина Н. Н. Инновационные парадигмы имитационного моделирования и их применение в сфере управленческого консалтинга, логистики и стратегического менеджмента // Логистика и управление цепями поставок. 2013. № 05(58). С. 28–41.
7. Аношкин П. А. Методы и инструменты пространственного развития крупнейшего города: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук. Оренбург, 2013. 23 с.
8. Форрестер Дж. Динамика развития города. М.: Прогресс, 1974. 287 с.
9. Громова А. А. Формирование системы, моделей и процедур принятия решений в задачах реорганизации промышленных территорий города (Москвы): автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук. Москва, 2008. 17 с.
10. Еклашева О. В. Моделирование экологического фактора в экономической динамике города: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук. М., 2004. 25 с.
11. Елохов А. М. Системный подход к городу как объекту программно-целевого управления // Искусство управления. 2011. №2. С. 61–79.
12. Лопухов Н. В. Обоснование необходимости имитационного моделирования логистики города Волгограда // Альманах современной науки и образования. 2013. № 7 (74) . С. 92–94.
13. Малыгина С. Н. Метод синтеза сценарной динамической модели развития малого города севера России: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Апатиты, 2003. 18 с.
14. Морзеев А. Б., Десятирикова Е. Н. Постановка задачи создания имитационной модели функционирования региона // ИнВестРегион. 2007. №2. С. 12–14.

15. Петрикова Е. М. Комплексное инвестиционное планирование развития города // Территория и планирование. 2011. №1(31). С. 15–25.
16. Садовникова Н. П., Парыгин Д. С., Манунина Е. В. Построение моделей развития города. Системно-динамический подход // Сб. науч. тр. Sworld по материалам междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании ‘2012». 2012. Т. 13. № 4. С. 73–76.
17. Храмов И. Н., Карпович О. В., Иванов А. И. Компьютерное моделирование социально-экономического развития города (на примере города Королёва) // Материалы межрегион. семинара «Автоматизированные информационные системы для решения задач в социальной сфере». 2010. 184 с.
18. Щербакова Н. В. Комплексная оценка эффективности социально-экономического развития крупного города на основе системно-динамического подхода: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук. СПб., 2009. 19 с.

**References:**

1. Karpov Yu. Simulation modeling of systems. Introduction to modeling with AnyLogic 5. SPb.: BHV-Peterburg, 2006. 400 p.
2. Abramov B. Agent-oriented modeling and simulation: prospects in the field of information technology [e-resource] // Laboratory of artificial societies: website. URL: http://www.artsoc.ru/digest/agent-oriented-models/index.php? ID = 181 (date of access 11.02.2015).
3. Gafarova E. A. Simulation models of integrated regional development // Managing large systems. 2013. № 45. P. 206–213.
4. Urban systems modelling. Proceedings of the Ist school-seminar. M., All-Union scientific research institute for system research, 1979. 216 p.
5. Resin V. I., Popkov Yu. S. Development of big cities in transition economies. System approach. M.: Editorial URSS, 2000. 328 p.
6. Lychkina N. N. Innovative paradigms of simulation modelling and their application in the field of management consulting, logistics and strategic management // Logistica i upravlenie cepyami postavok. 2013. № 05(58). P. 28–41.
7. Anoshkin P. A. Methods and tools of spatial development of the largest cities: abstract of a dissertation for the scientific degree of candidate of economic sciences. Orenburg, 2013. 23p.
8. Forrester J. The dynamics of the city. M.: Progress, 1974. 287.
9. Gromov A. A. Developing the system, models and decision-making procedures in restructuring the industrial areas of the city (Moscow): abstract of thesis for the scientific degree of candidate of economic sciences. Moscow, 2008. 17 p.
10. Eklasheva O. V. Modelling of environmental factor in the economic dynamics of a city: abstract of dissertation for the scientific degree of candidate of economic sciences. M., 2004. 25 p.
11. Elokhov A. M. Systematic approach to the city as an object of program-oriented management // Iskusstvo upravleniya. 2011. №2. P. 61–79.
12. Lopukhov N. V. Justifying simulation of logistics of the city of Volgograd // Almanah sovrmrnnoi nauki I obrazovaniya. 2013. № 7 (74). P. 92–94.
13. Malygina S. N. The method of synthesis of the scenario dynamic model of a small town in the north of Russia: abstract of thesis for the scientific degree of candidate of technical sciences. Apatity, 2003. 18 p.
14. Morzeev A. B., Desyatirikova E. N. Setting the goal of creating a simulation model of region functioning // InVestRegion. 2007. №2. P. 12–14.
15. Petrikova E. M. Comprehensive investment planning of urban development // Territoriya i planirovanie. 2011. №1(31). P. 15–25.
16. Sadovnikov N. P., Parygin D. S., Manunina E. V. Building models of urban development. System-dynamic approach // Coll. of scient. tr. Sworld based on the proceedings of the intern. scient.-pract. conf. “Modern problems and solutions in science, transport, manufacturing and education ‘2012’. 2012. V. 13. № 4. P. 73–76.
17. Khramov I. N., Karpovich O. V., Ivanov A. I. Computer modeling of socio-economic urban development (exemplified by the city of Korolev) // Proceedings of the interregional workshop “Automated information systems to address challenges in social sphere.” 2010. 184 p.
18. Shcherbakova N. V. Comprehensive assessment of the effectiveness of socio-economic development of a large city on the basis of a system-dynamic approach: the thesis abstract for the scientific degree of candidate of economic sciences. SPb., 2009. 19 p.