

С. П. Семенов, В. В. Славский, А. О. Ташкин

### **АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ГОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ**

Работа выполнена при поддержке гранта  
РФФИ, проект № 18-47-860016

*Целью работы является моделирование динамики города с использованием комбинированных технологий: агентного подхода, методов системной динамики и ГИС-технологий. Компьютерная модель может быть применена как инструмент поддержки принятия решения в управлении городскими системами. Представлены концептуальная модель динамики города и технология ее реализации в среде ПО AnyLogic, а также проведено исследование влияния изменения уровня комфорта районов на динамику населения города.*

*Ключевые слова: город, динамика, урбанизация, имитационный, модели, агентный, системная динамика, ГИС, Ханты-Мансийск.*

S. P. Semenov, V. V. Slavsky, A. O. Tashkin

### **AGENT-BASED MODEL THE URBAN DYNAMICS USING GIS-TECHNOLOGY**

*The aim of the work is to develop a computer model of the dynamics of the city, using combined technologies: agent approach, methods of system dynamics and GIS technologies. The computer model can be used as a tool to support decision-making in the management of urban systems. The conceptual model of the city dynamics and the technology of its implementation in AnyLogic environment are presented, as well as the study of the impact of changes in the level of comfort of areas on the dynamics of the city population.*

*Key words: city, dynamics, urbanization, simulation, models, agent, system dynamics, GIS.*

---

С середины XX века наблюдается неконтролируемый рост городов и населения, увеличение динамики социально-демографических процессов. Урбанизация повышает качество жизни населения, но вместе с тем порождает демографические, социально-экономические, экологические, а также градостроительные проблемы. Анализ и прогнозирование динамики социально-экономического развития городов является актуальным вопросом в управлении и стратегическом планировании. Проведение практических экспериментов с реальными городами невозможно ввиду опасности и затратности, однако существуют технологии, позволяющие создать симуляцию различных вариантов стратегий управления с помощью имитационных математических моделей. Имитационный подход в настоящее время активно применяется при моделировании территориальных систем, в частности городских.

Моделированию динамики развития города посвящены работы многих исследователей, например знаменитая I.S. Lowry «Model of the Metropolis, 1964» [1], в которой формализована компьютерная модель динамики города. В работе M. Wegener, F. Fürst «Land-Use Transport Interaction: State of the Art, 2004» [2] представлено подробное описание различных моделей динамики города и принципов их функционирования. Моделирование процесса взаимодействия населения с городской средой описано в работах

М. Batty, Iacono, M. Levinson [3, 4]. Социально-демографические процессы и их моделирование описывали такие ученые, как В. Farooq, E. J. Miller (2012), M. de Vok. Динамические модели развития города, основанные на концепции системной динамики, были предложены Дж. Форрестером в 60-х годах прошлого века. Системно-динамические модели на практике оказались легче реализуемыми и, как следствие, наиболее распространенными. К недостаткам динамических моделей можно отнести отсутствие учета территориальной взаимосвязи между подсистемами города, а также произвольность выбора нелинейных зависимостей между подсистемами города [9].

В данной статье описывается методика создания и реализации модели урбанистической динамики с использованием комбинированных технологий: агентного подхода, методов системной динамики и ГИС-технологий. Представленная модель отражает динамику перемещения населения между районами города в зависимости от уровня комфорта района, при этом население представлено в виде агентов, помещенных в среду системной динамики и взаимодействующих с ней. Информационное наполнение модели осуществлялось на примере города Ханты-Мансийска.

### **1. Описание концептуальной схемы**

Произведем формальное описание модели. Город разделен на семь районов (зон), каждый из которых наделен параметрами:

1. Уровень комфорта (комплексный показатель, отражающий привлекательность района с точки зрения населения).

2. Вместимость района (максимальное количество единиц населения в районе).

Уровень комфорта представлен в виде переменной величины, которую можно задать индивидуально для каждого района и изменить в ходе эксперимента. Вместимость района является фиксированной величиной, которая задается в параметрах модели и неизменна в ходе эксперимента.

В рамках модели население представлено в виде агентов, которые представляют граждан города, распределённых по районам. Гражданин (агент) является центральной частью этой модели, каждый человек проживает в определенном районе, соответствующем его требованию к уровню комфорта. Будучи закрепленным за определенным районом, гражданин в каждую единицу модельного времени анализирует уровень комфорта других районов и принимает решение о переезде в другой район. Если в другом районе есть свободные дома и уровень комфорта выше текущего района гражданина (агента), он изменит свое место жительства. Потоки между запасами занятых и доступных домов в районах города контролируются агентами: в случае перемещения агента соответствующие запасы увеличиваются в одном и уменьшаются в другом районе. На рисунке 1 представлен алгоритм принятия решения агентом (гражданином) о смене района города.

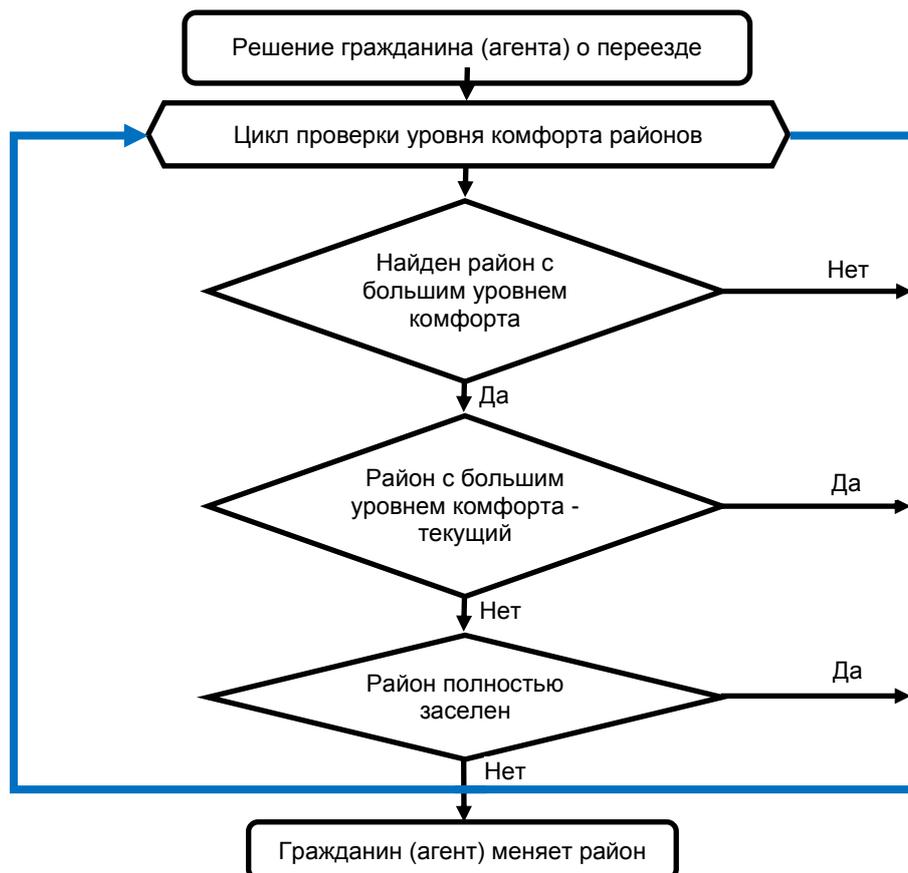


Рисунок 1 – Алгоритм принятия решения о смене агентом (гражданином) района

Районы города в модели представлены в виде полигональных объектов, отраженных на карте города, каждый из которых имеет определенную величину вместимости единиц населения (жилых домов) и заданное значение уровня комфорта. Город и районы формализованы в виде объектов системной динамики, население распределено между районами города, являющихся накопителями, а потоки между накопителями отражают перемещение населения между районами. На рисунке 2 отражена логическая схема модели системной динамики, отражающей перемещение граждан (агентов) между районами города в зависимости от уровня его комфорта

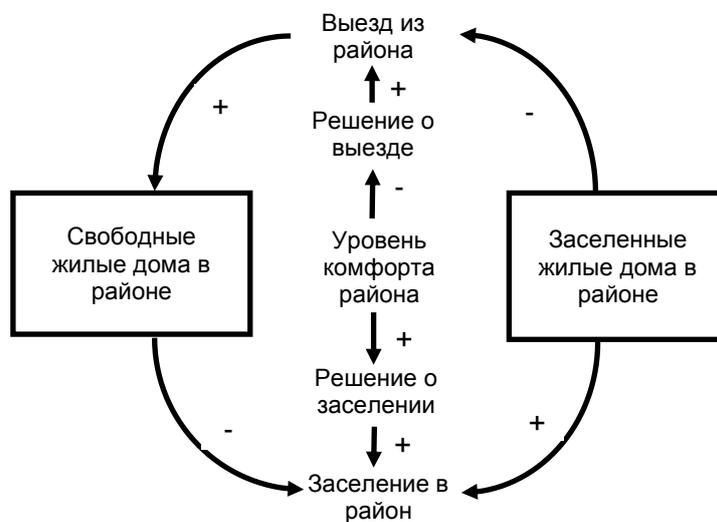


Рисунок 2 – Алгоритм принятия решения о смене агентом (гражданином) района

## **2. Реализация схемы в среде AnyLogic**

Для реализации комбинированной модели было выбрано ПО AnyLogic, которое позволяет создавать гибридные имитационные модели, с помощью агент-ориентированного подхода можно представить граждан в виде виртуальных агентов, а инфраструктуру города как объекты системной динамики.

Численность агентов фиксирована и описывается переменной TotalPopulation. Общая площадь города (TotalArea) разбита на районы города (District), которые в свою очередь, будучи полигональными объектами, имеют определённую площадь (AreaFraction), часть которой отведена для заселения гражданами. В модели доступна для заселения часть (affordableFraction) площади описывается равномерным распределением. Также для каждого района установлено значение площади района Area и коэффициента свободных домов HousesRedundancy. При принятии решения о переезде учитываются несколько параметров: уровень комфорта района (comfort), лояльность (loyaltyDelta) – параметр, отражающий коэффициент того, насколько лоялен к переезду гражданин (агент), а также значимость комфорта (weightComfort) – параметр, определяющий, насколько важен для гражданина (агента) уровень комфорта.

Количество домов для каждого из районов определяется по формуле:

- $Houses = TotalPopulation * AreaFraction[District] * HousesRedundancy$ .

Формула для расчета доли площади района от общей площади города AreaFraction[District]:

- $AreaFraction = Area[District] / TotalArea$ .

Скорость движения граждан (агентов) задается с помощью формулы:

- $100 / getScale().pixelsPerUnit(METER) / 86400$  м/с.

Для проведения экспериментов были установлены следующие значения входных параметров:

- единица модельного времени – 1 мес.;
- TotalPopulation = 10000;
- affordableFraction = uniform (0.3, 0.5);
- loyaltyDelta (лояльность) = 0.1;
- weightComfort (значимость комфорта) = 0.5;
- HousesRedundancy (коэффициент свободных домов)=1.2;
- также заданы начальные значения уровня комфорта каждого района.

В ходе исследования была протестирована работа модели, устойчивость, адекватность, выявлена чувствительность, произведена калибровка, проведен ряд экспериментов. На рисунке 3 представлен снимок экрана созданной модели в ПО Anylogic.

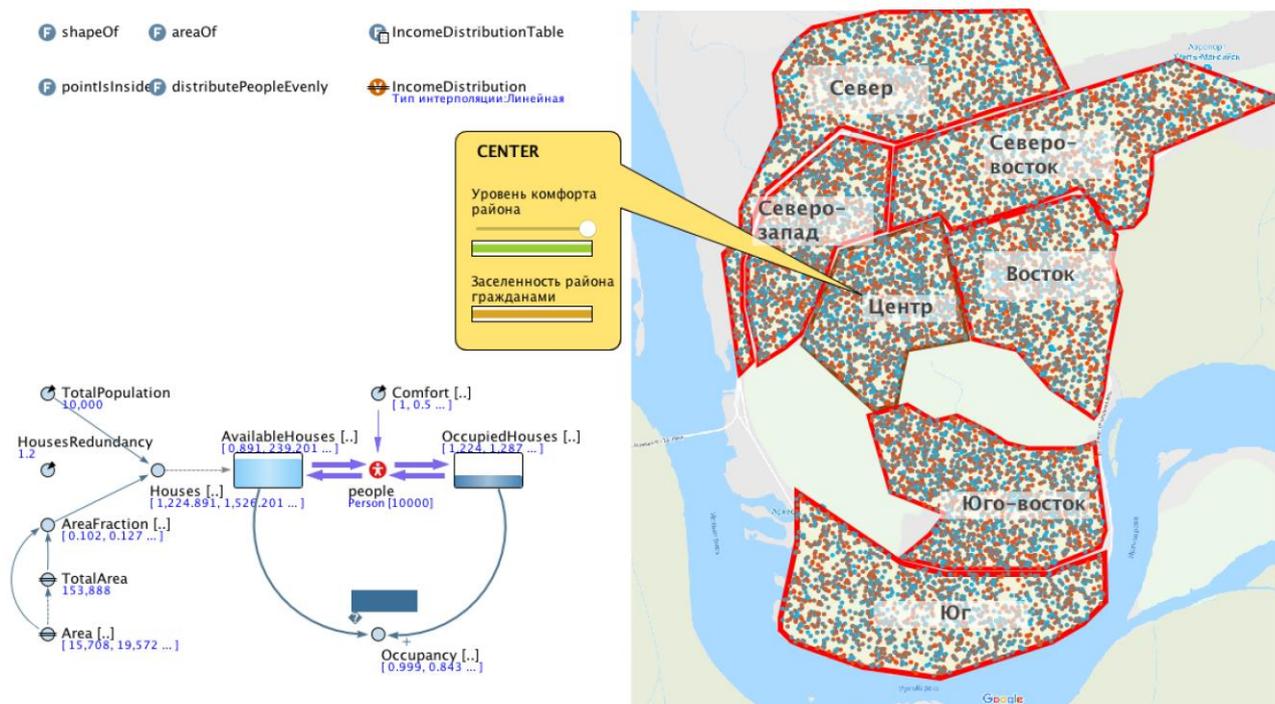


Рисунок 3 – Интерфейс модели

### 3. Заключение

Применение технологий имитационного моделирования позволяет комплексно и многопланово проводить оценку влияния изменения уровня комфорта районов на динамику населения города. Описанная методика реализации модели урбанистической динамики с использованием комбинированного агентного подхода и методов системной динамики позволила на примере города Ханты-Мансийска моделировать динамику населения в виде граждан-агентов, распределённых по районам города, представленных в виде объектов системной динамики. В качестве перспектив исследования предполагается дальнейшее усовершенствование модели за счет ввода дополнительных параметров и логических схем.

### Литература:

1. Lowry, I. S. A Model of Metropolis [Text] : Research Report RM-4125-RC / I. S. Lowry. – Santa Monica : Rand Corporation, 1964. – 150 p.
2. Wegener, M. Land-Use Transport Interaction: State of the Art [Text] / M. Wegener, F. Furst. – Econ papers, 2004. – 119 p.
3. Batty, M. Fifty Years of Urban Modeling: Macro-Statics to Micro-Dynamics [Text] / M. Batty // The Dynamics of Complex Urban Systems / editors S. Albeverio [et al.]. – New York : Physica-Verlag, 2008. – Pp. 1–20.
4. Iacono, M. Models of Transportation and Land Use Change: A Guide to the Territory [Text] / M. Iacono, D. Levinson, A. El-Genedy // Journal of Planning Literature OnlineFirst. – 2008. – Vol. 4. – № 4. – Pp. 323–340.
5. Семенов, С. П. Разработка имитационной модели геоинформационной системы для маломобильных групп населения [Текст] / С. П. Семенов, В. В. Славский, А. О. Ташкин // Вестник Югорского государственного университета. – 2017. – Вып. 3 (46). – С. 78–85.
6. Семенов, С. П. Анализ информационных ресурсов, направленных на удовлетворение информационных потребностей людей с ограниченными возможностями [Текст] / С. П. Семенов, В. В. Славский, А. О. Ташкин // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2016. – Т. 14. – Вып. № 1. – С. 115.

7. Семенов, С. П. Методика разработки геоинформационной системы для маломобильных граждан [Электронный ресурс] / С. П. Семенов, А. О. Ташкин. – Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/115-12206> (дата обращения: 15.12.2018).

8. Семенов, С. П. Интерактивная геоинформационная система для маломобильных граждан [Текст] / С. П. Семенов, А. О. Ташкин // Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования : сборник научных статей международной конференции, Барнаул, 20-24 октября 2015. – Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2015. – С. 1007–1010.

9. Форрестер, Дж. Динамика развития города [Текст] / Дж. Форрестер. – Москва : Прогресс, 1974. – 287 с.