

УДК 579.64

## **Многоподходная имитационная модель динамики миграции населения города**

**С.П. Семенов<sup>1</sup>, С.П. Пронь<sup>2</sup>, А.О. Ташкин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ЮГУ, г. Ханты-Мансийск, <sup>2</sup>АлтГУ, г. Барнаул

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

Динамика развития города является актуальной темой научных исследования [1,2]. Моделирование населения с городской средой описано в работах М. Batty, Iacono, М. Levinson [3,4]. Социальные и демографические модели описывали ученые В. Farooq, E.J. Miller (2012), М. de Vok. Динамические модели 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]. Вопросы, связанные с многоплановой оценкой влияния изменения уровня комфорта районов на динамику миграции населения города не изучены в полном объеме и являются актуальными в научном сообществе.

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

Научным сообществом известны и опубликованы результаты, направленные на описание проблем исследуемой области: описана концептуальная схема, создана структурно-функциональная модель, разработана модель динамики города на примере территории города Ханты-Мансийска. [6].

Город разделен на семь районов (зон), каждый из которых наделен параметрами: уровень комфорта (комплексный показатель, отражающий привлекательность района с точки зрения населения), вместимость



Системно-динамический подход исследует поведение моделируемой системы во времени, включая зависимости причинно-следственных связей, петель обратных связей, задержек реакции, влияния среды и прочего, используя такие типы элементов, как уровни, потоки, функции решений, каналы информации, соединяющие функции решений с уровнями, линии задержки, переменные. Процесс миграции между районами города представлен в виде уровней, отражающих занятость района и количество свободных домов для граждан, а потоки отражают процесс миграции населения между районами. Системно-динамическая схема модели, описываемого процесса миграции и перераспределения граждан между районами представлена на рисунке 2.

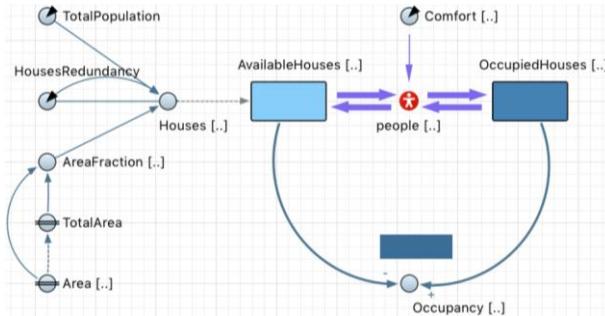


Рисунок 2 – Снимок экрана AnyLogic, процесс миграции граждан (агентов) реализованный с помощью системно-динамического подхода

При реализации системно-динамического подхода использованы следующие основные параметры:

Таблица 1 – Основные параметры для реализации системно-динамического подхода

№	Наименование	Объект Anylogic
1	Параметр, задающий общую популяцию города	TotalPopulation
2	Параметр, задающий коэффициент избыточности домов	HousesRedundancy
3	Динамическая переменная, задающая количество жилых домов в районе	Houses
4	Накопитель, отражающий количество доступных домов в районе	AvailableHouses
5	Накопитель, отражающий количество занятых домов в районе	OccupiedHouses
6	Параметр, отражающий уровень комфорта района	Comfort
7	Динамическая переменная, отражающая	Occupancy

	занятость домов в районе	
8	Динамическая переменная, отражающая площадь района	AreaFraction
9	Динамическая переменная, отражающая общую площадь города	TotalArea
10	Динамическая переменная, содержащая массив районов города	Area
11	Популяция агентов, содержащая характеристики модели и заданные параметры действий	people

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.

Для реализации механизма принятия решения гражданином (агентом) относительно вопроса миграции между районами в зависимости от уровня комфорта и лояльности гражданина к переезду в описываемой модели использована диаграмма действий.

Диаграмма действий (Activity diagram) – диаграмма, на которой показана декомпозиция некоторой деятельности на её составные части, то есть, спецификация исполняемого поведения в виде координированного последовательного и параллельного выполнения подчинённых элементов, соединённых между собой потоками, идущими от выходов одного узла к входам другого. Диаграмма действий (activity diagram) гражданина (агента) Person представлена на рисунке 3 и имеет следующий набор основных параметров:

Таблица 3 – Основные параметры для реализации диаграммы действий

№	Наименование	Объект Anylogic
1	Событие, запускающее диаграмм действий	everyMonth
2	Размерность, задающая набор поименных элементов, отражающих районы города	District
3	Переменная, содержащая номер района	district
4	Переменная	main
5	Параметр, задающая интенсивность распределения перемещения граждан	income
6	Параметр	affordableFraction
7	Параметр, отражающий лояльность граждан к переселению	loyaltyDelta
8	Параметр, отражающий весомость уровня	weighttComfort

	комфорта для граждан в выборе района	
9	Функция, отражающая привлекательность района	attractiveness
10	Локальная переменная, отражающая максимальную цену	maxprice
11	Локальная переменная, содержащая значение «лучшего района»	bestdistrict
12	Локальная переменная, для принятия решения о переезде	mustmove

 Person

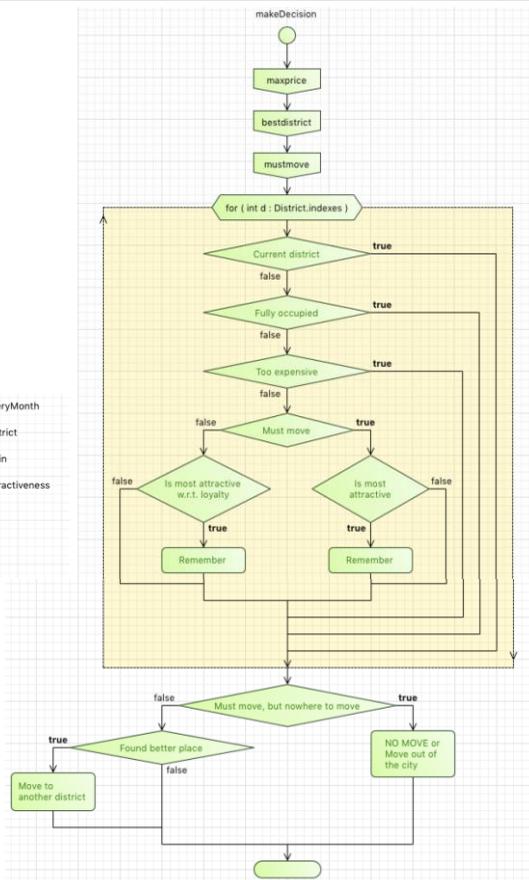


Рисунок 3 – Снимок экрана AnyLogic, принятие решения о смене гражданином (агентом) района, реализованное с помощью диаграммы действий

Каждую единицу модельного времени гражданин рассматривает текущие уровни комфорта всех районов и, если его район является наиболее привлекательным, гражданин остается в своем районе, если же район с более высоким уровнем комфорта является отличным от текущего, то, в зависимости от значения лояльности к переезду, гражданин принимает решение о переезде в другой район.

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 доступная для заселения часть (affordableFraction) площади описывается равномерным распределением. Также для каждого района установлено значение площади района Area и коэффициента свободных домов HousesRedundancy.

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 значение уровня комфорта (Рисунок 4).

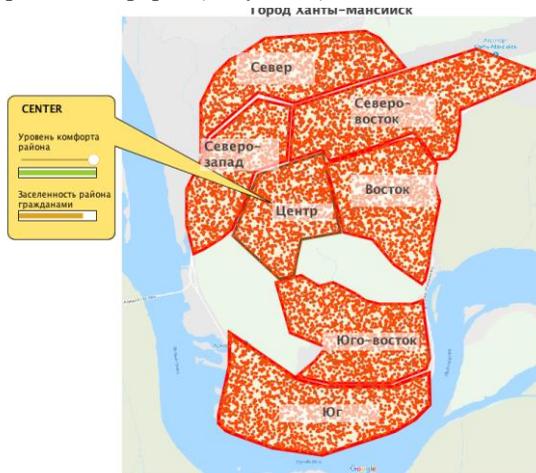


Рисунок 4 – Снимок экрана AnyLogic, визуализации результатов работы модели с помощью геоинформационных технологий

Геоинформационная составляющая модели реализует возможность интерактивного взаимодействия с моделью отражает в доступном виде результаты работы модели с помощью средств AnyLogic, имеет следующий набор параметров и элементов (Таблица 3):

Таблица 3 – Параметры и объекты для визуализации результатов работы модели

№	Наименование	Объект Anylogic
1	Название выбранного района	text9
2	Бегунок, устанавливающий уровень комфорта района	sliderAttractiveness
3	Столбиковая диаграмма, отражающая уровень комфорта района	chart2
4	Столбиковая диаграмма, отражающая заселенность района	chart1
5	Полигональный объект, Центр	shapeCENTER
6	Полигональный объект, Северо-запад	shapeINNERNW
7	Полигональный объект, Север	shapeOUTERNW
8	Полигональный объект, Северо-восток	shapeOUTERNE
9	Полигональный объект, Восток	shapeINNERNE
10	Полигональный объект, Юго-восток	shapeINNERS
11	Полигональный объект, Юг	shapeOUTERS

В ходе исследования была протестирована работа модели, устойчивость, адекватность, выявлена чувствительность, произведена калибровка, проведен ряд экспериментов. Для исследования работы модели в качестве примера выбраны два района, в одном из которых постепенно уменьшался уровень комфорта, а во втором постепенно повышался, при этом уровень лояльности гражданина (агента) по отношению к вопросу миграции являлся фиксированным. Результаты эксперименты приведены на рисунке 5.

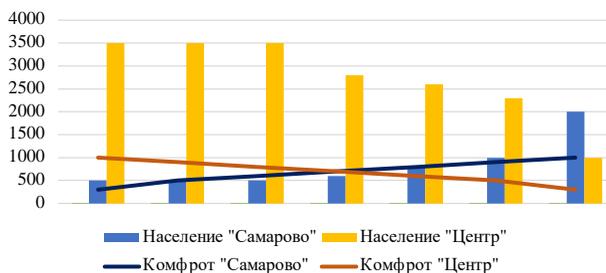


Рисунок 5 – Динамика миграции населения в зависимости от изменения уровня комфорта на примере двух выбранных районов

Применение технологий имитационного моделирования позволяет комплексно и многопланово проводить оценку влияния изменения уровня комфорта районов на динамику внутренней миграции населения города. Описанная методика реализации модели урбанистической

динамики с использованием различных подходов (методов системной, агентного подхода и ГИС-технологий) позволила на примере города Ханты-Мансийска моделировать динамику внутренней миграции населения, в виде граждан-агентов, распределённых по районам города, помещённых в среду системной динамики. В качестве перспектив исследования предполагается дальнейшее усовершенствование модели за счет реализации логических схем и добавления новых параметров.

### Библиографический список

1. I.S. Lowry. A Model of Metropolis. Research Report RM-4125-RC, Rand Corporation, Santa Monica, CA, 1964. P. 136.
2. M. Wegener, F. Furst, Land-Use Transport Interaction: State of the Art, Econ, 2004. P. 99
3. Batty, M. Fifty Years of Urban Modeling: Macro-Statics to Micro-Dynamics, The Dynamics of Complex Urban Systems. 2008. pp. 1–20.
4. Iacono, M. Levinson, D. El-Genedy, A. 2008. Models of Transportation and Land Use Change: A Guide to the Territory. Journal of Planning Literature OnlineFirst, published on Feb 1.
5. Форрестер Дж. Динамика развития города. Прогресс, 1974. 287 с.
6. Семёнов С.П., Славский В.В., Ташкин А.О. Агентно-ориентированная модель динамики города с использованием гис-технологий // Вестник Югорского государственного университета. - 2019. – Т. 15. – №1. – С. 66–71. doi: 10.17816/byusu20190166-71
7. Семенов С.П., Ташкин А.О. Оценка эффективности гис для маломобильных групп населения. Информационные технологии и системы Труды Седьмой Всероссийской научной конференции с международным участием. 2019. С. 121–125.
8. Пронь С.М., Семенов С.П., Ташкин А.О., Токарева Е.В. Агентно-ориентированные имитационные модели для реальных городских процессов. МАК: Математики – Алтайскому краю сборник трудов всероссийской конференции по математике с международным участием. Главный редактор профессор Н.М. Оскорбин. 2019. С. 169–173.
9. С. П. Семенов, В. В. Славский, А. О. Ташкин. Разработка имитационной модели геоинформационной системы для маломобильных групп населения. Вестник Югорского государственного университета, выпуск 3 (46), 2017 г. С. 78–85.
10. [Электронный ресурс] // Семенов С.П., Ташкин А.О. Методика разработки геоинформационной системы для маломобильных граждан. Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1; [Офф. сайт]. URL: <http://www.science-education.ru/115-12206> (дата обращения: 15.12.2016).

УДК 519.6

## Сравнение эффективности алгоритмов сверточных кодов

*Е.А. Степанов, А.Н. Гамова*

*Саратовский национальный исследовательский  
государственный университет имени Н. Г. Чернышевского*

Среди задач поиска хороших корректирующих кодов на первое место выдвинулась задача разработки эффективных алгоритмов декодирования разных кодов. Ее решение гарантирует как степень эффективности использования каналов связи (КПД), так и уменьшение затрат на создание кодеров и декодеров, связанных с условиями выбора заданной достоверности передачи информации. По теореме Шеннона существуют такие коды, для которых при  $R/C$  вероятность ошибки будет стремиться к нулю с ростом длины кода. На практике большинство методов декодирования существенно менее эффективны, поэтому важно иметь удобные критерии эффективности применения кодирования.

В работе проведено тестирование кодов, являющихся представителями направлений, появившихся на пути развития теории кодирования [1,2,3]. Тесты проводились на предмет их применимости в разных условиях работы. Например, при вариации такого важного параметра, как кодовая скорость  $R$ , выбирается подходящая полоса частот  $1/R$ , влияющая на выбор сложности аппаратуры декодирования. Отношение  $E_b/N_0$  (битовой энергии сигнала к спектральной плотности мощности шума в канале связи) позволяет учитывать отклонение системы от теоретического ограничения  $R < C$ . Как видно из графиков, с ростом кодовой скорости  $R$  граница для  $E_b/N_0$  перемещается вверх, что является ограничением в выборе уровня избыточности кодирования [4]. В тестировании участвуют коды Витерби, порогового декодирования и многопорогового декодирования.

Для тестирования алгоритмов декодирования использовалась программа, написанная на языке C# [4]. Результаты тестирования приведены в таблицах 1 – 10.

В рамках работы были проведены серии тестов на проверку различных характеристик алгоритмов декодирования. На первом этапе мы проверили скорости работы алгоритмов при разных начальных параметрах. На вход декодерам подавались последовательности бит