

УДК 681.518(075.32)

к.т.н., доцент А.В. Завальный,

к.т.н., доцент И.М. Патракеев,

Харьковская национальная академия городского хозяйства

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ АГЛОМЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ОДНОРОДНЫХ СТРУКТУР

Основной целью моделирования развития городских систем является прогнозирование городского планирования и обеспечения устойчивого развития территорий. Научно обоснованный подход к планированию и управлению пространственным развитием городских территорий должен быть основан на правильном понимании динамических процессов развития городских систем, то есть от прошлого к будущему через настоящее. В статье рассмотрены вопросы моделирования развития города с использованием теории классических однородных структур (ТОС), представляющей собой базовую компоненту общей теории однородных структур (Cellular Automata): новую и весьма перспективную среду моделирования многих дискретных параллельных процессов, явлений и феноменов в том числе и для моделирования процессов пространственного развития городских систем.

Ключевые слова: *Агломерация, город, моделирование, ОС-пространство, геоинформационные технологии, градостроительные решения, принятие решений, продукции.*

Особенность агломерации в том, что ее нельзя создать: формирование ее определено историческим развитием территории и сети поселений в конкретной географической ситуации. Но для эффективного развития агломераций необходимы государственные ресурсы и управленческое воздействие. Стихийное же развитие - расползание городов - чревато известными негативными последствиями: дорожные пробки, увеличение издержек на содержание существующих и строительство новых дорожных сетей и инфраструктуры, разрыв в доходах между муниципалитетами на периферии и в центре.

Основной целью моделирования развития городских систем является прогнозирование городского планирования и обеспечения устойчивого развития территорий. Научно обоснованный подход к планированию и управлению пространственным развитием городских территорий должен быть основан на правильном понимании динамических процессов развития городских систем, то есть от прошлого к будущему через настоящее [3].

Настоящая статья рассматривает вопросы моделирования развития города с использованием теории однородных структур [1, 2]. Одной из основных предпосылок, стимулировавших применение ОС-концепции параллельных дискретных систем, явилась настоятельная потребность в достаточно хорошо нормализуемой среде для моделирования процессов пространственного развития городских систем.

Городское развитие можно представить как переход от преимущественно негородского общества к городскому, которое возможно за счет увеличения существующих городских поселений и за счет развития новых городов. Люди накапливаются в городских районах в попытке получить лучший доступ к товарам, обслуживанию, в целом стремятся к более благоприятным возможностям и более престижной и оплачиваемой работе.

В результате финансовая, социальная, и культурная жизнь расцветает в большом городском пространстве, привлекая все больше и больше населения для жизни, работы, производства и потребления внутри городского пространства.

В 2007 году 50% мирового населения жили в больших и малых городах, что по оценке составляет более 60 млн. людей двигаются в города ежегодно. Более того, такой размер поступления людей в города будет сохраняться в течении ближайших 30 лет [3].

Изменения в финансовой и социальной активности внутри города, необходимость размещения все прибывающего населения, то есть внутренняя миграция и появление новых и изменение старой социальной активности населения ведет к реорганизации землепользования, необходимости строительства жилых и промышленных, офисных зданий, создание новых зон обслуживания в соответствии с современными требованиями.

Управление развитием агломерацией является одной из наиболее важных и, в тоже время, трудно решаемых задач. Для обеспечения эффективного регулирования городских процессов, связанных с территориальным развитием города, необходимо использовать системный подход и математического моделирование.

Целью данной статьи является разработать методику построения дискретной математической модели динамики развития городской системы. Исследование пространственной организации города реализовано в виде программы-симулятора, основанной на теории однородных структур (ТОС), у истоков которой стояли такие современные кибернетики и математики, как Джон фон Нейман, С.Улам и Э.Мур [1]. Симулятор реализован в виде программного комплекса в среде разработки VBA ArcGIS 9.3.

Однородные структуры представляют собой высоко формализованные модели абстрактных объектов, которые развиваются по простым и всюду одинаковым правилам взаимодействия. Пространство однородных структур (*OC*-пространство) представляет собой регулярную решетку, каждая клетка которой представляет некоторый идентифицируемый элемент (элементарную ячейку), которая допускает лишь конечное число состояний [5,6].

Формально однородная структура пределяется как упорядоченная четверка компонент

$$OC = \langle Z^d, A, \tau^{(n)}, X \rangle,$$

Z^d - компонента, представляющая собой множество представляет собой целочисленную решетку в E^d пространстве, чьи элементы служат для пространственной идентификации еденичных автоматов. При этом компонента Z^d определяет однородное пространство структуры, в котором она функционирует.

A – конечное непустое множество, называемое алфавитом внутренних состояний еденичных автоматов структуры, представляющее собой множество состояний, которые может принимать каждый элементарный автомат структуры.

$\tau^{(n)}$ - локальная функция переходов (*ЛФП*), которая задает состояние каждому еденичному автомату структуры в момент времени t на основе состояний всех соседних ему автоматов (согласно индекса соседства X) в момент времени $t - 1$.

X – индекс соседства структуры, представляет собой упорядоченный кортеж n элементов, который служит для определения клеточных автоматов-соседей с которыми данный еденичный автомат непосредственно связан информационными каналами, то есть обменивается информацией.

В качестве примера рассматривается динамика развития территории города Харькова. При моделировании использовались данные, полученные на основании использования аэрофотоснимков, космических снимков современной застройки городской территории и планов исторической застройки города, (рисунок 1).

Математическая модель имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} & Z^2 - 2-OC \text{ пространство размерности } n \times n; \\ & i, j - \text{ координаты ячейки,} \\ & \text{где } 0 \leq i \leq n, \\ & \quad 0 \leq j \leq n, n \in N. \end{aligned}$$

Для рассматриваемого примера $N = 10300$.

В начальный момент времени имеется 4 типа объектов: «объект застройка», «объект железная дорога», «объект реки», «объект дороги (магистралей)».

Обозначим в общем виде множество всех типов объектов, используемых в модели:

$$G = \{g_k^{(i_n, j_n)} \mid (i_n, j_n) \in Z^2, n \in N, k = \overline{1,4}\},$$

где k – общее количество типов объектов G в начальный момент времени;

(i_n, j_n) – индексы n -го объекта типа G , характеризующие расположение данного объекта в OC -пространстве Z^2 .

Для каждого объекта должно выполняться неравенство:

$$(\forall_{v,w \in N}) g_k (|i_v - i_w| + |j_v - j_w| > 0),$$

которое означает, что каждый объект в OC -пространстве Z^2 имеет отдельную ячейку.

Наиболее вероятностным подходом к рассмотрению хронологической последовательности расширения городской территории является учет ландшафтных особенностей местоположения города. Для обозначения рек, железной дороги, транспортных магистралей и мест непригодных для строительства по своим топографическим особенностям используются «мертвые» зоны - ограниченные участки OC -пространства. В таких «мертвых» зонах не возможно появление объектов застройки. На рисунке 1 показаны входные данные для пространственного моделирования развития городской территории, полученные в результате векторизации картографической информации и обработке космических снимков средствами геоинформационных технологий.

Функционирование модели осуществляется в дискретной шкале времени $t = 0, 1, \dots$ и определяется локальной функцией перехода ($ЛФП$) $\tau^{(n)}$, которая задает состояние каждому единичному автомату OC -пространства в момент времени t на основе состояний всех соседних ему автоматов в момент времени $(t-1)$. В модели используется классический шаблон соседства Э.Ф Мура (рисунок 2).

Более подробно построение алгоритмов моделирования в классических однородных структурах изложено в работах [6, 7].

Функционирование в OC -пространстве выполняется в дискретной шкале времени, и определяется $ЛФП$, которые задают состояние каждому единичному автомату структуры в момент времени t на основе состояний всех соседних ему автоматов (в нашем случае согласно шаблона Э.Ф.Мура) в момент времени $(t-1)$. Другими словами $ЛФП$ определяют, по какому правилу участки городского

пространства будут изменять свое состояние, следовательно, правила определяют характер процесса развития в данном локальном пространстве.

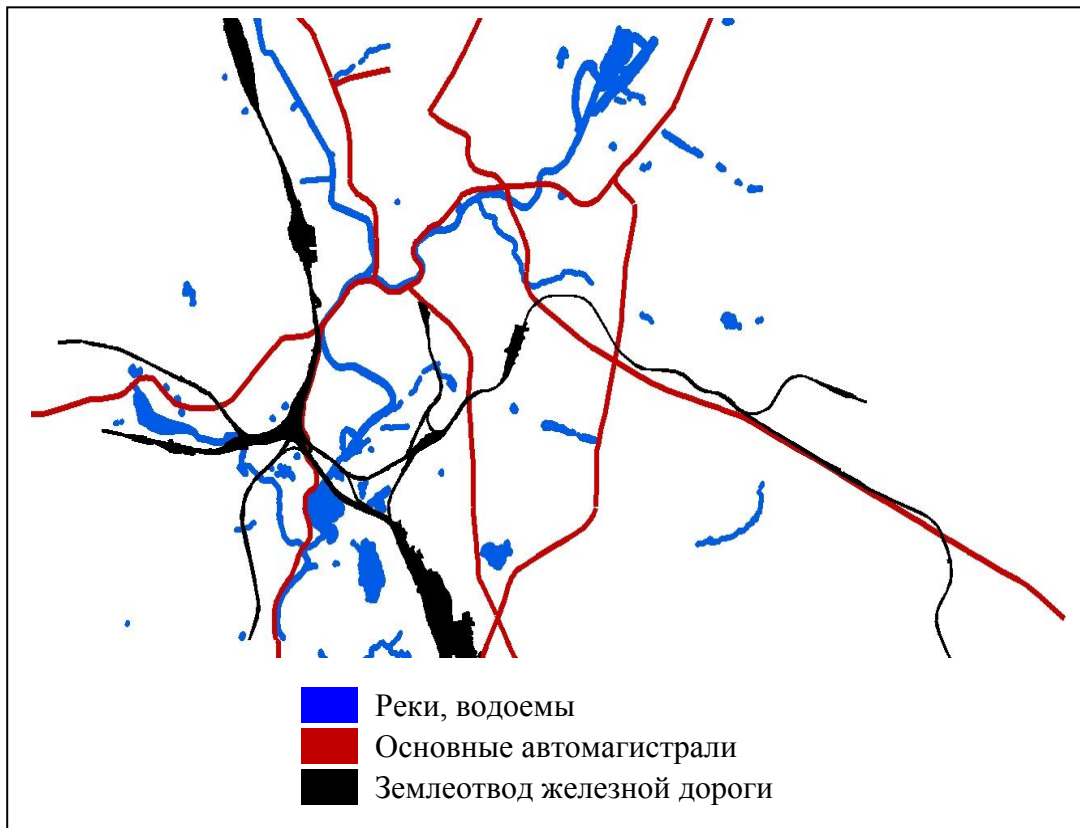


Рис. 1. Входные данные для пространственного моделирования развития городской территории

		-1, 1	0, 1	1, 1	
		-1, 0	0, 0	1, 0	
		-1, -1	0, -1	1, -1	

Рис. 2. Шаблон соседства Э.Ф. Мура

Такие правила обычно представлены в виде набора продукций "ЕСЛИ-ТО", которые по своей сути достаточно просты. Однако, совокупность таких простых конструкций позволяет моделировать сложные процессы пространственного развития городской системы [7].

Некоторые правила в виде продукций "ЕСЛИ-ТО", реализованные в данной модели представлены в таблице 1-3.

Правило 1

Таблица 1

ЕСЛИ	<i>в шаблоне соседства Мура существует три или более разработанных земельных участка среди земельных участков, принадлежащих пригородной зоне,</i>
ТО	<i>земельные участки, принадлежащие пригородной зоне, будут переведены в состояние, соответствующее состоянию участков городской зоны.</i>

Правило 2

Таблица 2

ЕСЛИ	<i>в шаблоне соседства Мура существует один или два разработанных земельных участка среди земельных участков, принадлежащих пригородной зоне и через них проходит транспортная магистраль,</i>
ТО	<i>земельные участки, принадлежащие пригородной зоне, будут переведены в состояние, соответствующее состоянию участков городской зоны.</i>

Правило 3

Таблица 3

ЕСЛИ	<i>в шаблоне соседства Мура существует один или два разработанных земельных участка среди земельных участков, принадлежащих пригородной зоне и через них проходит железная дорога,</i>
ТО	<i>земельные участки, принадлежащие пригородной зоне, будут переведены в состояние, соответствующее состоянию участков городской зоны.</i>

С учетом локальных правил 1-3 сценарий развития городского пространства на рассматриваемой территории показан на рисунке 3. Показано начальное состояние перед началом моделирования (а) результат моделирования, полученный на 353 итерации.

Для проверки адекватности данной модели рассмотрим соответствие результатов, полученных при моделировании, имеющимся планам города Харькова (рисунок 4). На рисунке показаны результаты моделирования динамики городской застройки и картографических данных на период начала XX века и на период 2004 года.

Как видно из приведенного рисунка, данная модель позволяет получить достоверную информацию о динамике роста территории города.

В качестве заключения необходимо отметить, что развитие территории города определяет среду жизнедеятельности населения и потому имеет большое общественное значение. В силу этих обстоятельств,

градостроительные проекты должны быть максимально открытыми и получать одобрение со стороны горожан. Для согласования целей и задач градостроительного развития с самыми широкими слоями населения, деловыми кругами и городской властью, необходимо максимально открытое обсуждение генерального плана и всех градостроительных решений [4].

В этих условиях, использование рассмотренных в статье моделей, с учетом имеющихся ресурсных ограничений позволит выработать более адекватные, более целесообразные решения в области стратегического управления развитием территории города.

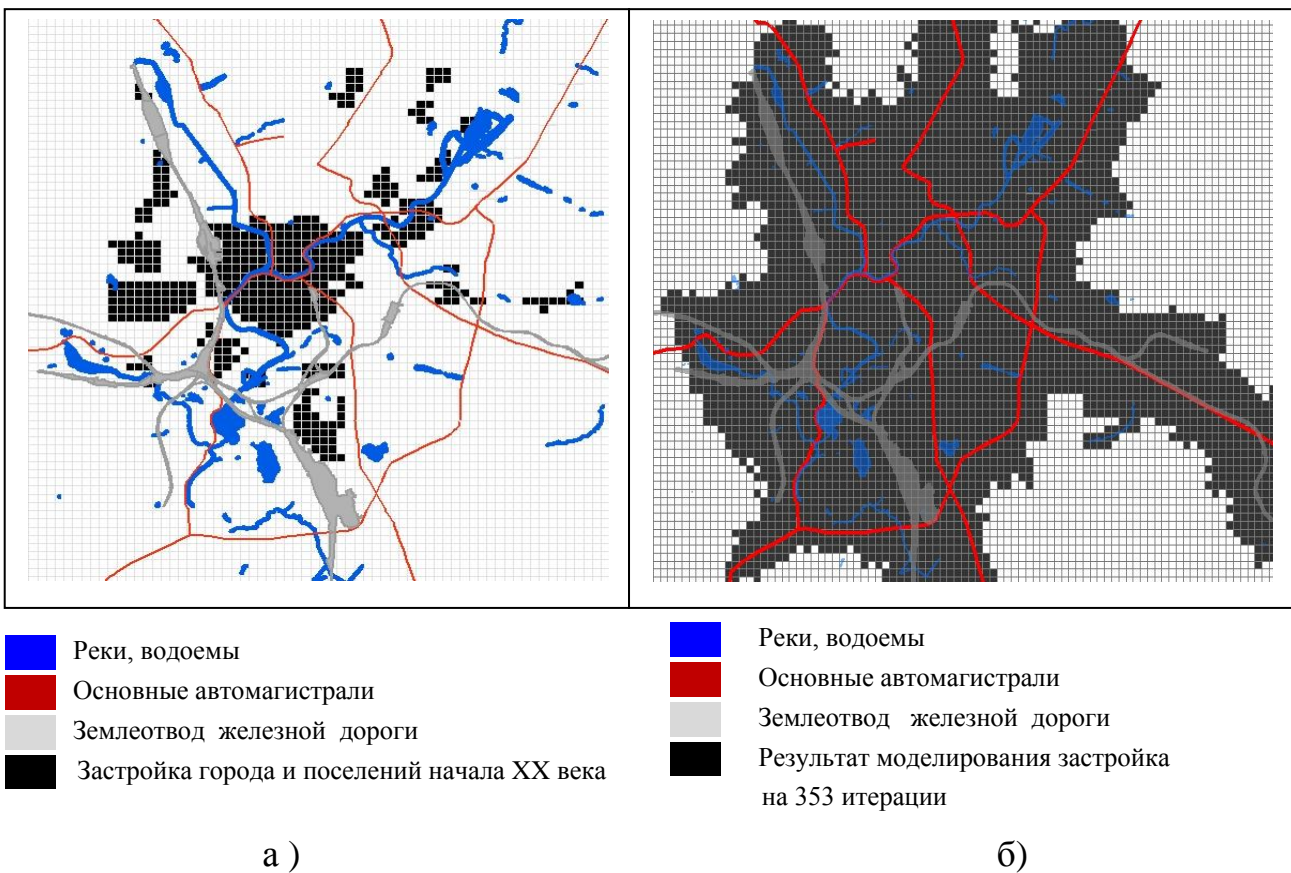


Рис. 3. Начальное состояние (а) и результат (б) моделирования развития городской территории с использованием однородных структур

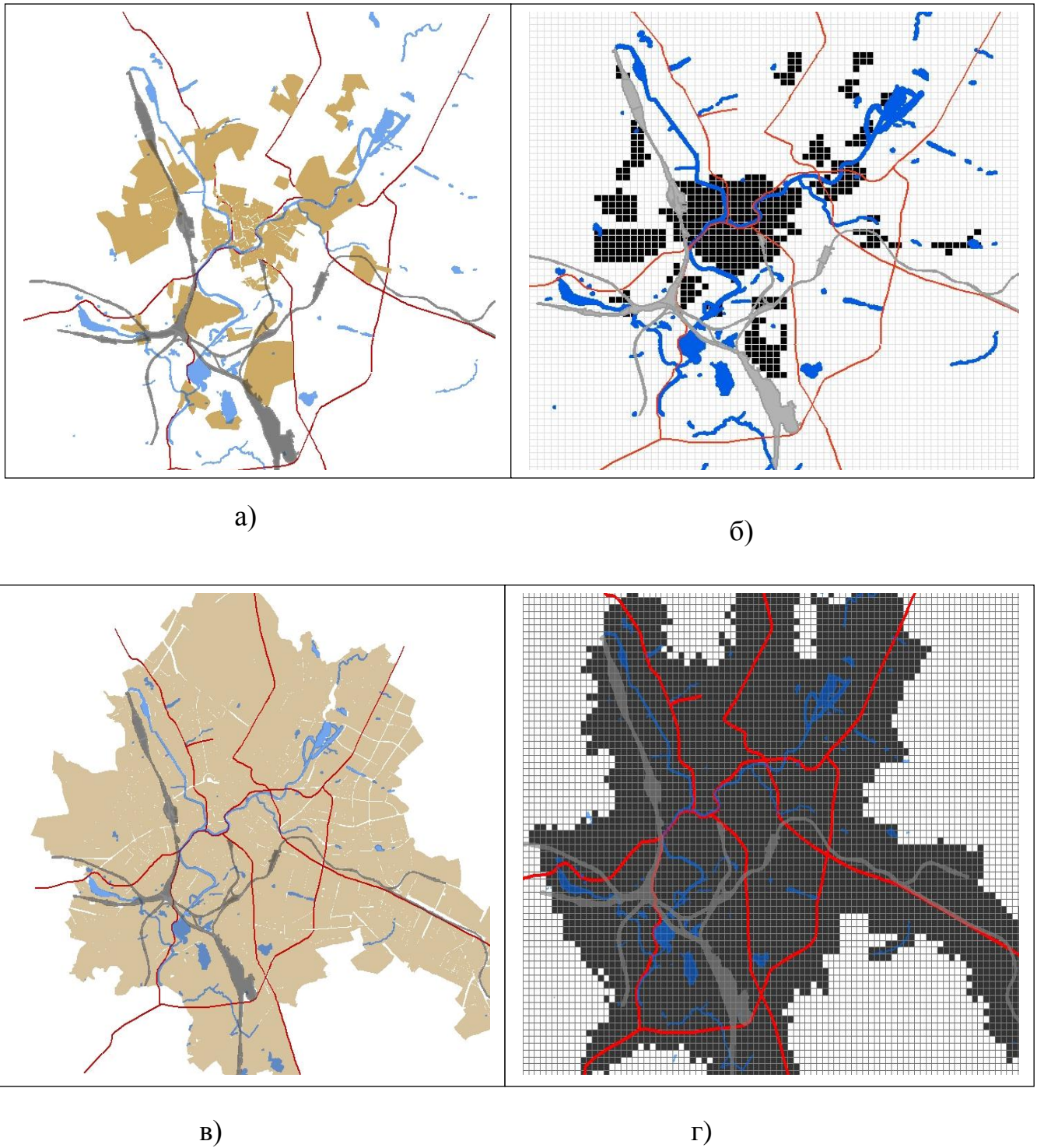


Рис. 4. Сравнение результатов моделирования динамики городской застройки и картографических данных в различные моменты времени:
 а) застройка города на начало XX века и ее представление в модели (б);
 в), г) 2004 год и модель, полученная на 353 итерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аладьев В.З. и др. Прикладные аспекты теории однородных структур / 8-я Белорусская математическая конференция, ч. 3, Минск, 19-24 июня 2000.
2. Соломина О.А., Арзамасцев А.А. Универсальный симулятор на основе клеточного автомата // Вестн. Тамб. ун-та. Сер. Естеств. и техн. науки. Тамбов, 2008. Т.13. Вып. 1. С. 109-111.
3. Культурное пространство региона [Электронный ресурс] / Томский государственный университет. – 2007. – Режим доступа: www.tsiac.ru/cdo/index. – Дата доступа: 08.10.2007.
4. Никулина Ю.Н. Функциональное пространство города и городское управление. Науч. тр. акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь. – Минск: Акад.упр. при Президенте Респ. Беларусь, 2008. Т. 2. – С. 123 -129.)
5. Waddell, P. Integrated land use and transportation planning and modeling: addressing challenges in research and practice, *Transport Reviews*, 2002, Vol. 31, 209-229.
6. Waddell, P. UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation and environmental planning, *Journal of the American Planning Association*, 2011, Vol. 68, 297-314.
7. Theoretical and Practical Issues on Cellular Automata, Proceedings of the Fourth International Conference on Cellular Automata for Research and Industry (ACRI 2000), Cellular Models of Urban Systems David O'Sullivan Paul M. Torrens, June, 2000.

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы моделирования развития города с использованием теории классических однородных структур (ТОС), представляющей собой базовую компоненту общей теории однородных структур (*Cellular Automata*): новую и весьма перспективную среду моделирования многих дискретных параллельных процессов, явлений и феноменов в том числе и для моделирования процессов пространственного развития городских систем.

Abstract

This article deals with the development of simulation using the classical theory of homogeneous structures, a core component of the general theory of homogeneous structures (*Cellular Automata*): a new and very promising simulation environment many discrete parallel processes, events and phenomena including modeling processes of spatial development of urban systems.