

УДК 528:061.3

ОРГАНИЗАЦИЯ ПАРКОВОК В КРУПНОМ ГОРОДЕ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ТОЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Патракеев И.М., Жуков В.Е., Леонтьева О.Г.

*Харьковская национальная академия городского хозяйства, Харьков, Украина
E-mail: info@gis.kh.ua*

В статье рассматривается методика построения пространственно-точной имитационной модели организации паркинга автомобилей в центральной части крупного города, на примере города Харькова. Модель организации паркинга основана на моделировании поведения каждого водителя, принимающего участие в процессе паркования своего автомобиля и охватывает основные этапы паркования: движение к месту назначения, поиск и покидание парковочного машиноместа. Рассмотрена структура модели, ее основные алгоритмы. Разработанная пространственно-точная модель позволяет определять влияние различных пространственных сценариев на организацию парковок на территории крупного города.

Ключевые слова: парковка автомобилей, геоинформационные системы, имитационное моделирование

ВВЕДЕНИЕ

Недостаток мест для паркования легкового автотранспорта ощущается на всех территориях крупных городов, а особенно в их центральных районах, что порождает ряд острых проблем: снижение пропускной способности улично-дорожной сети города, ухудшение условий безопасности движения транспорта, осложнение проезда общественного транспорта и экстренных служб (аварийных, спасательных, медицинских, пожарных), трудности в проведении механизированной уборки улиц, дискомфорт и повышенная опасность движения пешеходов, ухудшение экологической обстановки и др.

Значительное превышение спроса на места парковок над предоставляемым количеством парковочных мест является характерной чертой центров крупных городов. Кроме того, негативное влияние на условия и безопасность дорожного движения в городах оказывает процесс неорганизованных парковок легковых автомобилей на улично-дорожной сети (УДС) с нарушением Правил дорожного движения (ПДД).

По имеющимся немногочисленным данным отечественных и зарубежных исследований, доля дорожно-транспортных происшествий (ДТП), связанных с процессом паркования легковых автомобилей в крупных городах, составляет от 5 до 15 %. Как правило, такие ДТП возникают при маневрировании автомобилей, подъезжающих к краю проезжей части для остановки или встраивающихся в транспортный поток. Вместе с тем, в условиях острого дефицита машиномест на внеуличных стоянках, проезжая часть предоставляет практически единственную возможность осуществить стоянку при внутригородских поездках на автомобиле.

В настоящее время фактически отсутствует единая нормативно-методическая база, которая позволяла бы определять порядок организации парковок на УДС и регламентировать их параметры. В результате даже организованные парковки, в том числе платные, в ряде случаев размещаются без должного обоснования, что приводит к снижению пропускной способности УДС, росту количества ДТП, а также увеличению задержек транспортных средств.

Таким образом, в настоящее время актуальным становится вопрос о регулировании организации мест для парковок. Известно, что средства от оплаты за паркование, поступают в местный бюджет и чаще всего используются муниципалитетами на поддержание и развитие инфраструктуры в области организации парковок автомобилей.

Оплата за парковки, кроме того, является одним из инструментов регулирования политики организации парковок. Для того чтобы совершенствовать политику организации парковок кроме экономических факторов необходим инструмент, который даст возможность лицам, принимающим решения (ЛПР) оценивать и выбирать эффективный вариант организации парковок автомобилей в условиях ограниченного количества парковочных мест в центральной части городской территории.

В статье исследуется методика построения пространственно-точной имитационной модели организации паркинга (МОП) автомобилей в центральной части крупного города, на примере города Харькова. Модель организации паркинга основана на моделировании действий каждого водителя, принимающего участие в процессе паркования своего автомобиля и охватывает основные этапы этого процесса: движение к месту назначения, поиск и покидание парковочного машиноместа.

Вопросы организации парковок легкового транспорта изучались многими специалистами. Так, различным аспектам проектирования и оценки функционирования парковок посвящены исследования М.Б. Афанасьева, Е.Н. Боровика, А.Н. Герасимова, И.М. Головных, Ю.С. Ланцберга, Е.М. Лобанова, И.О. Пихлака, А.Г. Романова, Г.М. Саруханяна, В.В. Шештокаса и ряда других авторов. Все традиционные подходы к изучению процесса парковки на городской территории исходят из понятия “среднего водителя”, “среднего количества автомобилей”, которые находятся в “обыкновенной”, непространственной окружающей обстановке.

В исследуемой пространственно-точной модели организации паркинга сделана попытка учесть действия каждого водителя при парковке, которое зависит от количества доступных машиномест, но самое главное – то, что автомобили находятся в пространстве, которое моделируется реальными слоями геоинформационной системы.

Детализированная городская среда является основой для процесса анализа времени поиска парковочного места, времени на передвижение от места парковки до места назначения.

Пространственно-точная МОП, представленная в статье, позволяет изучить потребность в парковочных машиноместах в центральной части городской территории в дневное время.

1. СТРУКТУРА МОДЕЛИ

Пространственно-точная МОП разрабатывалась в соответствии с двумя основными принципами [1]. Первый принцип состоит в том, что МОП представляет пространственно-точную модель, которая построена на основе геоинформационной системы, содержащая тематические слои наиболее важные для исследования процесса парковки. В качестве таких слоев были использованы элементы улично-дорожной сети города – сегменты улиц, парковочные места на главных улицах, парковочные места вне главных улиц, здания, точки общественного тяготения на главных улицах. Второй принцип состоит в том, что пространственно-точная МОП разрабатывалась как агентно-ориентированная модель, которая позволяет моделировать передвижение каждого автомобиля, который движется к пункту назначения, определяет место для парковки и покидает парковочное место. Основным элементом модели является описание действий объекта, то есть автомобиля. Пространственно-точная МОП содержит правила, которые определяют для каждого объекта модели порядок движения к пункту назначения, условия поиска машиноместа, условия парковки объекта и условия покидания парковки. Кроме того правила определяют поведение объекта в случае недостатка парковочных мест на или вне главных улицах моделируемой городской территории.

Пространственно-точная МОП функционирует на основе слоев городской территории, полученных в среде ArcGIS и может рассматриваться как внешнее приложение к ArcGIS, разработанное в среде Microsoft Visual Studio 2005 Pro. Интерфейс пространственно-точной МОП содержит набор инструментов для выбора как области моделирования, установления сценариев моделирования, так и хранения полученных результатов. Обмен данными между ArcGIS и пространственно-точной МОП осуществляется файлами в формате XML.

1.1 Пространственная база данных

Пространственная база данных в модели состоит из пространственных слоев высокого разрешения (для создания слоев использовался масштаб 1:2000) и непространственных таблиц. Такими пространственными слоями являются:

- улично-дорожная сеть, каждый сегмент которой характеризуется емкостью машиномест для парковок;
- разрешения или запрещения поворотов;

- здания на городской территории, которые определяют места назначения для водителей.

На основании исходных слоев строятся два дополнительных слоя. Слой “линий” для моделирования улиц с двухсторонним движением, которые расположены по обеим сторонам от центральной линии улиц и линий, моделирующих одностороннее движение, что показано на Рис. 1.

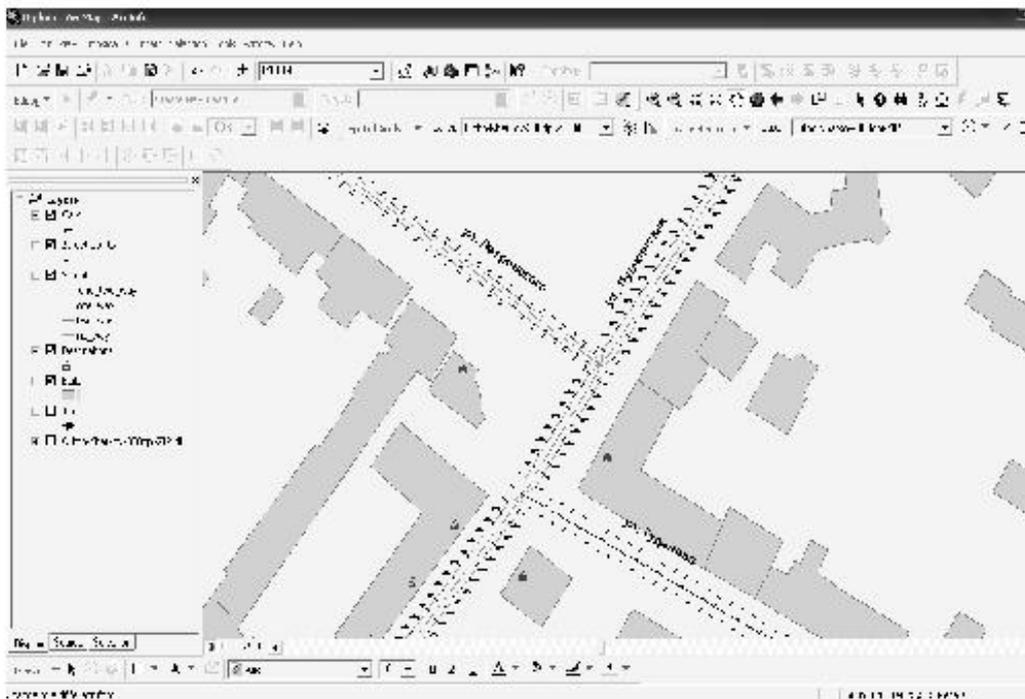


Рис.1. Основные и вторичные слои пространственно-точной МОП в окне ArcGIS.

Парковочные места, расположенные на главных улицах, моделируются в виде точек, которые построены по обеим сторонам от центральной линии сегмента улицы. Средняя дистанция между парковочными местами выбрана 5 метрам, на основании натуральных наблюдений.

Слой парковочных машиномест включает в себя все физически существующие парковочные места, в том числе и те, где парковка не разрешена, но технически возможна.

1.2 Моделирование движения автомобиля в дискретном пространстве и времени

Модель реализуется в дискретном пространстве и времени: за каждую итерацию объект (автомобиль) меняет свое положение с учетом скорости движения.

Временная частота моделирования зависит от длины парковочного машиноместа, которое определено как 5 метров. В соответствии с чем, интервал времени выбран $\Delta t = 1$ сек, при условии что автомобиль движется со скоростью $V = 18$ км/ч, чтобы транспортное средство могло за один шаг итерации продвигнуться на 5 м [1].

В модели скорость движения V_s (км/ч) пересчитывается в скорость V_m , которая измеряется в длинах машиномест для каждого интервала модельного времени. Модельная скорость транспортного средства V_m в модели представляется как:

$$V_m = V_{m, \text{int}} + V_{m, \text{dec}},$$

где $V_{m, \text{int}}$ – целая часть V_m ;
 $V_{m, \text{dec}}$ – десятичная часть V_m .

В качестве примера, если скорость 20 км/ч, длина парковочного места 5 метров, при условии, что время итерации 1 сек, то скорость транспортного средства в модели $V_m = 1,11$ длины места парковки за один шаг модельного времени, то есть $V_{m, \text{int}} = 1$, а $V_{m, \text{dec}} = 0,11$.

Чтобы моделировать движение на “нецелой”, десятичной составляющей скорости V_m , в модели генерируется случайное число η , которое равномерно распределено на интервале $[0,1]$. В таком случае автомобиль продвигается на расстояние $D = V_{m, \text{int}} + 1$ длин мест парковки в направлении к месту назначения при выполнении условия $V_{m, \text{dec}} > \eta$ или $D = V_{m, \text{int}}$, если $V_{m, \text{dec}} < \eta$, что можно записать в виде:

$$D = \begin{cases} V_{m, \text{int}} + 1, & \text{если } V_{m, \text{dec}} > \eta; \\ V_{m, \text{int}}, & \text{если } V_{m, \text{dec}} < \eta. \end{cases} \quad (1)$$

Вышерассмотренная математическая модель применяется к каждому транспортному средству, движение которого моделируется. Необходимо отметить, что перед началом преодоления интервала D , проверяется свободен ли очередной интервал или нет, в последнем случае движение прекращается. Порядок движения транспортных средств устанавливается заново, случайно, в каждом цикле работы алгоритма.

1.3 Порядок выбора пути движения

Когда транспортное средство приближается к перекрестку, тогда водитель принимает решение о том, в каком направлении ему двигаться, чтобы последовательно двигаться по направлению к месту назначения. В пространственно-точной МОП решение основано на сравнении дистанции до места назначения от текущего перекрестка. В модели рассматриваются места назначения удаленные не более чем на 3-5 сегментов улично-дорожной сети (Рис. 2).



Рис.2. Схема выбора пути в соответствии с алгоритмом действия водителя.

Все транспортные средства рассматриваются в модели на расстоянии начала поиска нужного места, что соответствует 100 метрам пространственно-точной МОП, то есть это расстояние, на котором водитель становится осведомленным о необходимости начала поиска парковки. Места назначения – это множество доступных точек попадающих в круг радиуса 100 метров, установленный для данной МОП. Чтобы начать моделирование движения транспортного средства одна из точек выбирается по случайной схеме.

1.4 Моделирование действий водителя при парковке

Правила поведения водителя зависят от этапа процесса парковки. В пространственно-точной МОП рассматриваются четыре основных этапа процесса парковки [1, 2]:

этап 1: движение по направлению к месту назначения, которое выбрано случайным образом;

этап 2: оценка доли незанятых (свободных) машиномест;

этап 3: остановка в найденном месте парковки;

этап 4: покидание места парковки и покидание среды моделирования.

Проанализируем этапы реализации предложенной модели процесса парковки. На этапе 1 движение к месту назначения выполняется согласно правилу движения в моделируемой среде (1). На этапе 2 выполняется оценка доли не занятых машиномест. Второй этап выполняется тогда, когда транспортное средство находится между расстоянием поиска места для парковки и расстоянием принятия

решения на парковку (в модели такое расстояние установлено соответственно 100 и 50 метров). На каждом шаге модельного времени оценивается доля свободных парковочных мест $\Delta P_{\text{freedom}}$:

$$\Delta P_{\text{freedom}} = N_{\text{freedom}} / (N_{\text{freedom}} + N_{\text{busy}});$$

где N_{freedom} – количество свободных машиномест,

N_{busy} – количество занятых машиномест.

Начиная с расстояния от начала поиска места парковки до расстояния принятия решения на парковку водитель движется с оценкой $\Delta P_{\text{freedom}}$ (Рис. 3).

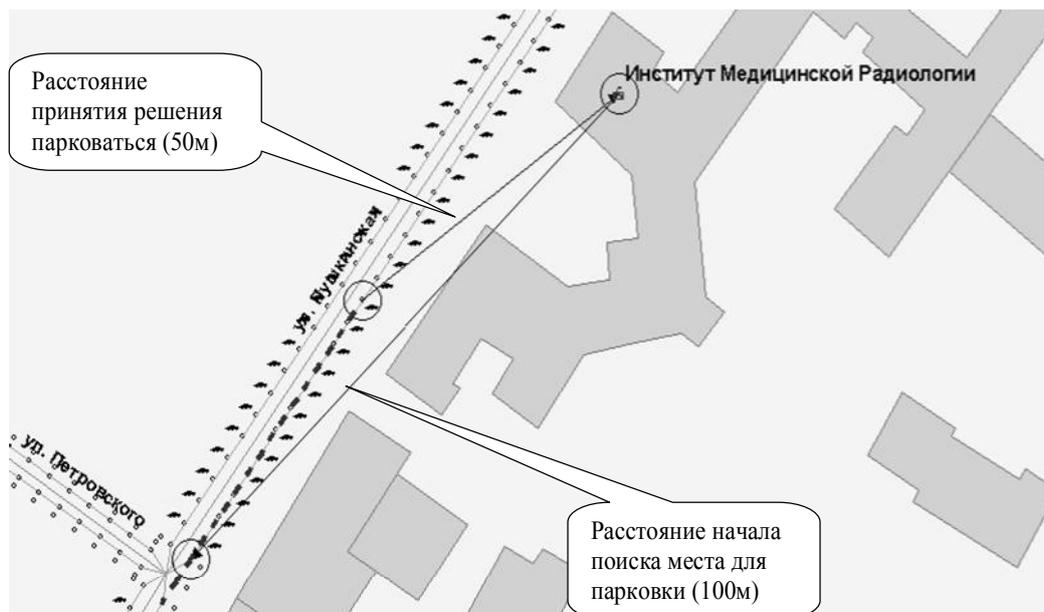


Рис.3. Схема пути на котором водитель движется с оценкой $\Delta P_{\text{freedom}}$.

Следующие два этапа процесса парковки в модели зависят от накопленного времени поиска парковки τ . Если время поиска парковки τ в модели превышает установленное τ_{search} , то транспортное средство паркуется на любом машиноместе.

В модели время τ_{search} может устанавливаться в зависимости от требований к времени поиска свободного машиноместа. Водитель паркуется с интервалом времени, который приписывается каждому водителю случайным образом. По истечении времени, отведенного на парковку, он исчезает из модели организации парковок.

2. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛИ

На основании пространственно-точной модели оценим парковочные возможности на главной улице (ул. Пушкинская). Количественная характеристика изучаемого района представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристика	Значение
Количество зданий в центральном районе	1589
Общая длина улиц в центральном районе (9м)	32565,051
Количество уличных сегментов в центральном районе	177
Количество машин на основе космических снимков в дневное время (ул. Пушкинская)	1249
Количество домов (по ул. Пушкинская)	161
Общая длина ул. Пушкинская (м)	2766, 920

Оценка общего спроса на парковку по ул. Пушкинской основана на количестве точек общественного тяготения, полученных на основе полевых исследований. На основании полевых исследований установлено, что в одной трети зданий есть возможность парковаться вне главной улицы. Таким образом, максимальная вместимость паркинга на улице может быть определена исходя из выражения:

$$P_{\max} = \frac{2L}{l_p} - l_p k - \frac{n_{зд}}{3},$$

где P_{\max} - максимальная вместимость паркинга на главной улице;

L - длина улицы Пушкинская;

l_p - длина машиноместа для паркинга;

k - количество сегментов улицы;

$n_{зд}$ - количество зданий на главной улице.

Оценивая указанные параметры на основе пространственно-точной модели, максимальная вместимость паркинга на ул. Пушкинская составляет 948,101 машиноместа. Общее соотношение спроса и предложения будет составлять $1249/948,101=1,31$. Учитывая, что парковки в одной трети зданий в основном заняты местными жителями и доступны лишь в короткое время середины дня, то этими парковками можно пренебречь, тогда соотношение спроса и предложения будет составлять 1,4. С учетом дальнейшего роста количества автотранспортных средств соотношение спроса и предложения на парковку будет постоянно возрастать.

Решение вопроса о добавлении машиномест к существующим парковочным возможностям на главной улице и улучшит ли это ситуацию со спросом и предложением должна обеспечить разработанная пространственно-точная МОП.

В модели рассмотрена гипотетическая возможность увеличения парковочных мест на исследуемой территории путем добавления 500 свободно доступных парковочных мест. Были рассмотрены два сценария распределения вместимости парковочных мест по территории. Первый сценарий предусматривал 500 машиномест, размещенные централизованно на исследуемой территории и второй сценарий, который предусматривает 4 места размещения парковок по 125 машиномест соответственно.

Результаты проведенного моделирования показывают, что для сценария с 4 парковками при времени поиска парковки в 10 минут количество водителей, время поиска которых превышает 10 минутный барьер, составляет 280-320. В случае с централизованной организацией паркинга количество водителей, чье время поиска превышает 10 минутный барьер, колеблется между 400 и 450.

Разработанная пространственно-точная модель позволяет определять влияние различных пространственных сценариев на организацию парковок на территории крупного города. Можно предположить, что уменьшение времени поиска парковок положительно повлияет как качество проживания жителей центральных районов, так и на качество окружающей среды, что выражается в уменьшении загрязнения воздуха, скопления автотранспорта, основанное на машинах, которые находятся в выборе машиноместа для парковки.

ВЫВОДЫ

В статье исследован один из возможных подходов к построению пространственно-точной модели организации парковок на территории города. Рассмотрена математическая модель движения автомобиля в дискретном времени и пространстве. Работа пространственно-точной модели исследована на примере центрального района города Харькова, улицы Пушкинской, как наиболее загруженной в дневное время.

В отличие от известных, традиционных моделей данный подход имитирует действия каждого водителя в пространственно-точной городской среде, что значительно повышает значимость результатов моделирования. Разработанная модель не лишена недостатков. Еще предстоит провести исследования свойств пространственно-точной имитационной модели, оценить погрешности имитации, определить чувствительность имитационной модели.

Однако необходимо отметить, что ясны и направления дальнейших исследований в этой области. Эти исследования имеет смысл проводить и в рамках текущей модели, и в направлении изменения модели для более корректного описания конкретных эффектов.

Суммируя все вышеизложенное, можно отметить, что именно пространственно-точные модели позволяют давать адекватные количественные оценки в ходе моделирования дорожного движения.

Список литературы

1. Benenson I. Entity-based modeling of urban residential dynamics: the case of Yaffo, Tel-Aviv. *Environment and Planning B: Planning and Design*. / Benenson I., Omer I., Hatna E. – 2002. – V. 29. – P. 491-512.
2. Bandman O. Computation properties of spatial dynamics simulation by probabilistic cellular automata / O. Bandman // *Future Generation Computer Systems*. – 2005. – V.21. – P. 633-664.

Патракеєв І.М. Організації паркувань у великих містах на основі просторово-точного моделювання / І.М. Патракеєв, В.Є. Жуков, О.Г. Леонтєва // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Географія. – 2010. – Т.23 (62). – № 2 – С.222-231.

У статті розглядається методика побудови просторово-точної імітаційної моделі організації паркінгу автомобілів в центральній частині великого міста, на прикладі Харкова. Модель організації паркінгу заснована на моделюванні поведінки кожного водія, який бере участь у процесі паркування свого автомобіля і охоплює основні етапи паркування: рух до місця призначення, пошук і покідання паркувального машиномісця. Розглянуто структуру моделі, її основні алгоритми. Розроблена просторово-точна модель дозволяє визначити вплив різних просторових сценаріїв на організацію парковок на території великого міста.

Ключові слова: паркування автомобілів, геоінформаційні системи, імітаційне моделювання

Patrakeev I.M. Foundation of the parking lots in major cities on the basis of the space-accurate simulation / I.M. Patrakeev, V.E. Zhukov, O.G. Leontyeva // Scientific Notes of Taurida National V. Vernadsky University. – Series: Geography. – 2010. – Vol. 23 (62). – № 2 – P. 222-231.

Methods of the space-accurate simulation models for the parking of cars in the central part of a large city at the example of the city Kharkiv are described. Model of organization of parking is based on modeling the behavior of each driver participating in the process of parking his or her car and covers the main stages of parking spaces: the movement to a destination, search and leaving the parking spaces. Highlight is on the structure of the model and its main algorithms. Developed spatially accurate model allows to determine the influence of different spatial scenarios for the organization of parking garages in major cities.

Keywords: parking, geographic information systems, simulation

Поступила в редакцію 07.04.2010 г.