

Известия Алтайского государственного университета. 2025. № 1 (141). С. 123–128.  
Izvestiya of Altai State University. 2025. No 1 (141). P. 123–128.

Научная статья

УДК 004.942:519.6

DOI: 10.14258/izvasu(2025)1-17

## Имитационная модель поведенческих предпочтений посетителей городского парка

Игорь Викторович Пономарев<sup>1</sup>, Борис Борисович Якимов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия, igorpon@mail.ru

<sup>2</sup>Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия, berrek17@gmail.com

Original article

## Simulation Model of Behavioral Preferences of City Park Visitors

Igor V. Ponomarev<sup>1</sup>, Boris B. Yakimov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Altai State University, Barnaul, Russia, igorpon@mail.ru

<sup>2</sup>Altai State University, Barnaul, Russia, berrek17@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрен процесс построения имитационной модели, направленной на анализ поведенческих предпочтений посетителей городского парка. Целью построения данной модели является выявление точек массового скопления посетителей, а также изучение нагрузки на объекты инфраструктуры. При проектировании новых или изменении старых объектов инфраструктуры анализ данных показателей необходим для создания благоприятной общественной среды, повышения безопасности пребывания посетителей на территории парка.

Для имитации человеческих предпочтений применялся подход, основанный на максимизации полезности действий с помощью Utility AI. За обработку событий и взаимодействия агентов между собой отвечают деревья поведения (behavior trees) и умные объекты (smart objects).

В результате была построена модель, имитирующая коллективное поведение посетителей парка и позволяющая изучать статистические результаты каждого прогона модели. В частности, применение данной модели позволило выявить места массового скопления людей на территории парка и улучшить понимание особенностей перемещения посетителей. Также были определены места, в которых необходимо размещение дополнительных инфраструктурных элементов. Разработанная модель может быть применена для компьютерного изучения других территорий подобного типа.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, человеческое поведение, Utility AI, умные объекты, дерево поведения

**Abstract.** The article describes the development of a simulation model to analyze the behavioral preferences of city park visitors. The purpose of this model is to identify mass congestion of visitors and study the load on infrastructure facilities. Analysis of these factors is necessary when designing new or changing old infrastructure facilities to create a favorable public environment and increase the safety of visitors in the park.

An approach based on maximizing the utility action using the Utility AI is utilized to simulate human behavior. Behavior trees and smart objects are used to process events and interactions between agents.

The developed model simulates fully the collective behavior of park visitors and helps study the statistical results of each model run. In particular, the application of this model allows identifying places of mass congestion of people in the park and better understanding of the specifics of visitors' journey across the park. Also, the model helps locate the areas where additional infrastructure elements are needed. The developed model can be used for computer study of other territories of similar type.

**Keywords:** simulation modeling, Human behavior, Utility AI, smart objects, behavior tree

**Для цитирования:** Пономарев И.В., Якимов Б.Б. Имитационная модель поведенческих предпочтений посетителей городского парка // Известия Алтайского государственного университета. 2025. № 1 (141). С. 123–128. DOI: 10.14258/izvasu(2025)1-17

### Введение

Человеческое поведение представляет собой сложный феномен, исследование которого требует применения специальных методов анализа. При разработке городской инфраструктуры необходимо учитывать не только расположение пешеходных дорожек, зон отдыха и досуговых объектов, но и прогнозировать приоритеты направлений пешеходных потоков, а также анализировать потенциальные точки массового скопления людей. Это будет способствовать достижению необходимого уровня безопасности и снижению социальной напряженности.

Одним из эффективных инструментов для этого является имитационное моделирование, которое позволяет воспроизводить и тестировать различные сценарии взаимодействия пешеходов с окружающей средой, обеспечивая тем самым возможность оценки эффективности принимаемых решений и выявления потенциальных проблем еще на этапе проектирования. Разработке поведенческих моделей посвящены многие работы российских и зарубежных авторов [1–4].

Математической основой подобных моделей являются, как правило, модели, использующие теорию очередей, или клеточные автоматы.

В настоящей работе была смоделирована среда городского парка, который является бурно развивающейся территорией и притягивает большое число горожан.

### Структура модели

Главным агентом в разрабатываемой динамической имитационной модели является «человек» (далее агент).

**For citation:** Ponomarev I.V., Yakimov B.B. Simulation Model of Behavioral Preferences of City Park Visitors. *Izvestiya of Altai State University*. 2025. No 1 (141). P. 123–128. (In Russ.). DOI: 10.14258/izvasu(2025)1-17

Каждый экземпляр агента уникален и имеет свой набор персональных характеристик: пол, рост, вес, возраст, количество денежных средств, отношение к спорту. Данные характеристики задаются при инициализации агента в соответствии с данными, полученными из открытых статистических источников [5], фактически являясь значениями по умолчанию. За поведение агента в среде отвечает одноуровневый Utility AI [6, 7], который фокусируется на максимизации полезности или ценности для пользователя или системы:

$$EU(a) = \sum_i P(s_i | a) \cdot U(s_i)$$

где:  $E(a)$  — ожидаемая полезность действия  $a$ ,  $P(s_i | a)$  — вероятность состояния  $s_i$  при выполнении действия  $a$ ,  $U(s_i)$  — полезность состояния  $s_i$ .

С каждым агентом связан набор потребностей, отвечающих за: усталость, голод, уровень счастья. Данные характеристики изменяют свое значение с течением времени. Скорость и способ изменения этих характеристик зависят от персональных характеристик человека. Например, скорость изменения усталости зависит от скорости передвижения, которая, в свою очередь, зависит от роста, возраста и веса. В каждый момент времени для каждой потребности вычисляется значение  $U(s_i)$ , на основании которого принимается решение о дальнейшем действии.

Со временем происходит обновление переменных состояния агентов, и каждый раз выполняется перерасчет значения полезности для каждой потребности — числа в интервале от 0 до 1, где 0 — нет потребности в чем-либо и 1 — максимальная потребность.

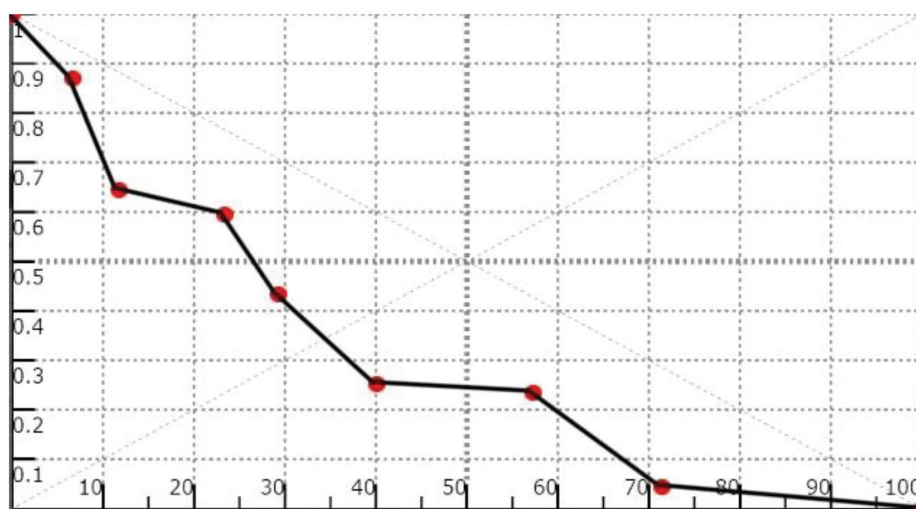


Рис. 1. Кривая усталости, по которой рассчитывается  $U(s_i)$

В ходе имитации значению соответствующей потребности ставится в соответствие значение  $EU(a)$ . Приоритетной будет та задача, которая выполняет действие, удовлетворяющее потребность с наибольшим значением.

При запуске модели с установленным интервалом создаются агенты в точках входа в среду (входы в парк). Перемещение агента осуществляется по навигационной сетке [8] и выполняется в соответствии с заранее установленными точками интереса. Для каждой точки перед началом имитации задается вес (значение от 0 до 10), делающий одни точки более предпочтительными для выбора, чем другие. Данные веса заданы в соответствии с результатами наблю-

дения за реальным объектом парка и его аналогами с целью выявления мест массового скопления людей.

На рисунке 2 представлено дерево поведения, изображенное в виде блок-схемы. Данное дерево отвечает за планирование и исполнение задач в соответствии с рассчитанным значением полезности. Дерево имеет одинаковую структуру для всех агентов, но в ходе выполнения и принятия решений используются данные, уникальные для каждого объекта.

При выполнении задач используется блокирующий подход. Пока не выполнена текущая задача, другие не рассматриваются, при этом обновление индивидуальных характеристик выполняется, а перерасчет utility значений — нет.

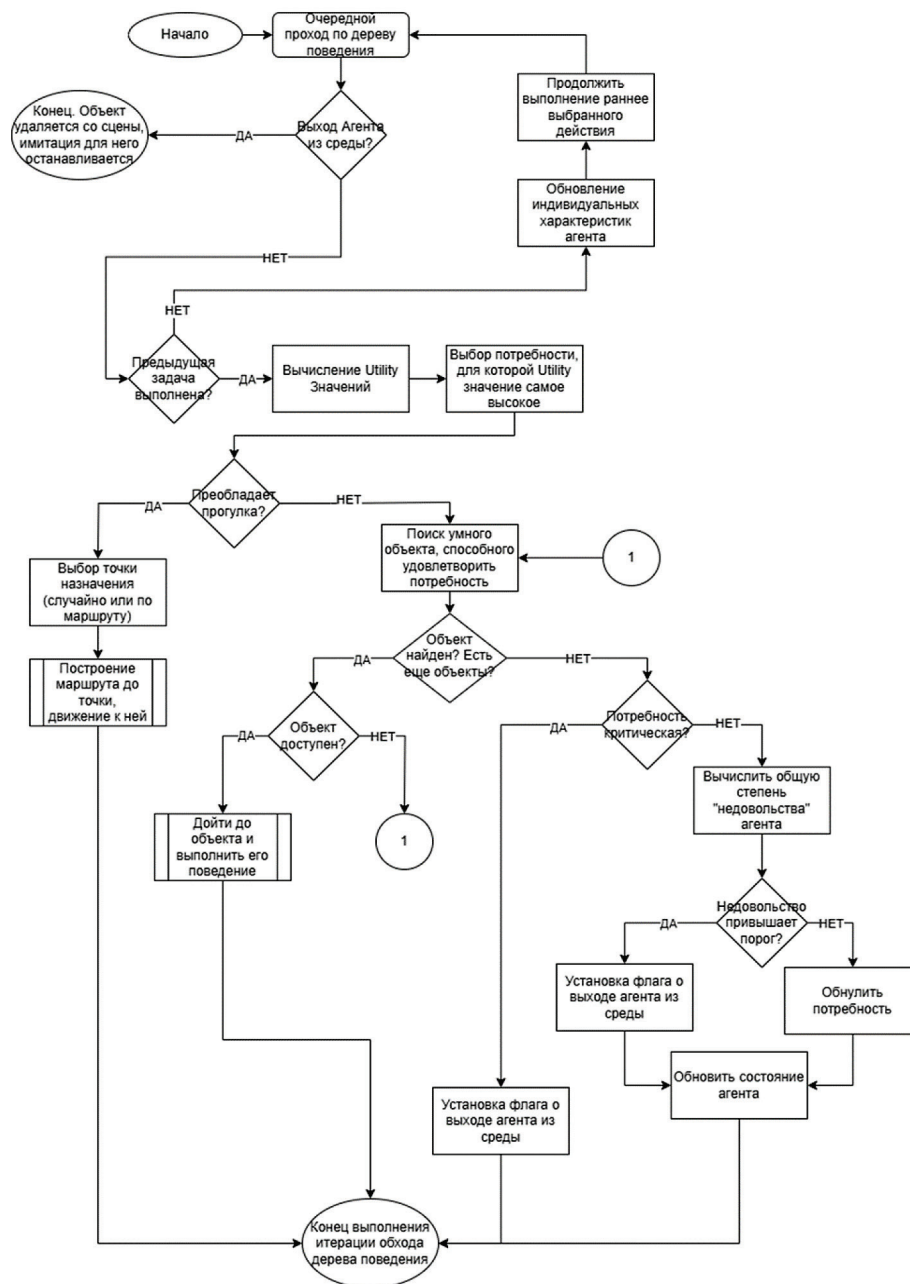


Рис. 2. Одна итерация дерева поведения

Для удовлетворения потребностей используются умные объекты (лавочки и др.) [9, 10]. Данные объекты обладают набором меток, соответствующих удовлетворяемым потребностям, и поведением — действием, за счет которого будет удовлетворяться потребность. Метки: «место для сидения», «точка питания», «зона развлечения», «спортивный снаряд», «точка наблюдения» (за интересным местом). Фактически агент переходит под контроль умного объекта при выполнении своего (умного объекта) поведения. Для лавочек поведение заключается в «Сесть на лавочку» и во время пребывания на ней снимать усталость агента в течение предопределенного промежутка времени (90 секунд

или до полного восстановления). Для киоска с продуктами — проверить баланс агента, списать сумму за продукты. Данное действие также занимает установленный промежуток времени (30 секунд).

### Пример и заключение

Выполнена имитация для 120 агентов. В среде «парк» размещено 68 лавочек. В ходе моделирования была получена картина, приближенная к реальности. Самые уставшие люди находились дальше всего от лавочек. Лавочки стоят на аллеях (белые полосы) (рис. 3). На внешнем круге, где наблюдается наибольшее количество уставших, часто ходят люди, преследующие спортивный интерес.

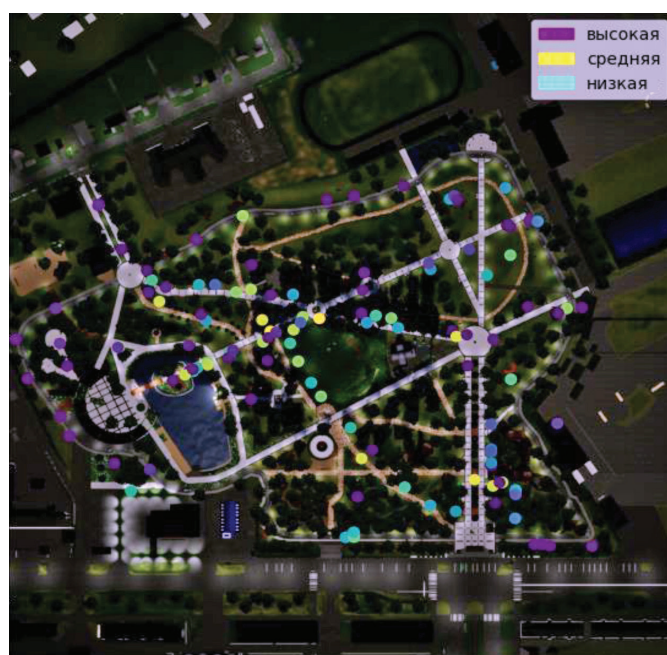


Рис. 3. Усталость людей в парке

Частью парка, в которой больше всего людей, оказалось место, где находятся санитарная комната, маленькая детская площадка, и само место является

пересечением двух аллей, к которым примыкает второстепенная дорожка (диаграмма, рис. 4).

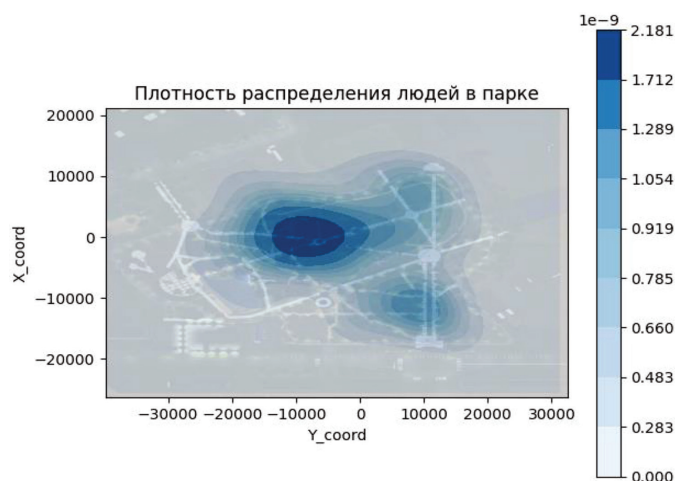


Рис. 4. Плотность распределения людей в парке

Разумеется, ни одна имитационная модель не может точно соответствовать реальному объекту, и текущая используемая модель требует доработки и учета дополнительных возможностей, предоставляемых

средой. Тем не менее даже в таком виде созданная модель позволяет получить некоторые представления о поведении людей в городском парке.

## Библиографический список

1. Арутюнян М.А. Математическая модель оценки вероятности пересечения улицы пешеходами в некотором случайном месте // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 4 (43). DOI: 10.26102/2310-6018/2023.43.4.036
2. Зарипова Р.С., Рочева О.А., Гарипова Г.Р. Оптимизация дорожного движения с использованием имитационного моделирования // International Journal of Advanced Studies. 2022. Т. 12. № 3-2. С. 40–45.
3. Chraïbi M., Schadschneider A., Tordeux A. Social Distancing and the Future of Pedestrian Dynamics // arXiv. 2023. DOI: <https://arxiv.org/abs/2308.06065>
4. Bellomo N., Gibelli L. Behavioral Human Crowds and Society // Crowd Dynamics, Volume 4. Cham: Springer International Publishing. 2023. P. 1–8. DOI: 10.1007/978-3-031-46359-4\_1
5. Официальная статистика // Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistic> (дата обращения: 15.11.2024).
6. Донских А.К., Барабанов В.Ф., Гребенникова Н.И., Белых М.А. Обзор архитектуры систем управления интеллектом на основе полезности и дерева поведения // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2021. Т. 17. № 2. С. 36–41.
7. Millington I. Artificial Intelligence for Games. London: Morgan Kaufmann Publishers, 2006. 856 p.
8. Navigation System // Epic Games Unreal Engine Documentation. URL: [https://dev.epicgames.com/documentation/ru-ru/unreal-engine/navigation-system-in-unreal-engine?application\\_version=5.3](https://dev.epicgames.com/documentation/ru-ru/unreal-engine/navigation-system-in-unreal-engine?application_version=5.3) (дата обращения: 15.11.2024).
9. Smart Objects Quick Start // Unreal Engine 5.5 Documentation. URL: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/smart-objects-in-unreal-engine---quick-start> (дата обращения: 15.11.2024).
10. Ладоса Е.Н., Хмырова А.Д. Применение искусственного интеллекта в процессе 3D моделирования сложных архитектурных объектов // Научный лидер. 2024. № 19 (169). С. 19–22.

## References

1. Arutyunyan M.A. Mathematical Model for Assessing the Probability of Pedestrians Crossing the Street at a Random Location. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2023. Vol. 11. No 4 (43). DOI: 10.26102/2310-6018/2023.43.4.036. (In Russ.).
2. Zaripova R.S., Rocheva O.A., Garipova G.R. Optimization of Road Traffic Using Simulation Modeling. *International Journal of Advanced Studies*. 2022. Vol. 12. № 3-2. P. 40–45. (In Russ.).
3. Chraïbi M., Schadschneider A., Tordeux A. Social Distancing and the Future of Pedestrian Dynamics. *Arxiv*. 2023. DOI: <https://arxiv.org/abs/2308.06065>
4. Bellomo N., Gibelli L. Behavioral Human Crowds and Society. *Crowd Dynamics*, Volume 4. Cham: Springer International Publishing. 2023. P. 1–8. DOI: 10.1007/978-3-031-46359-4\_1
5. Official Statistics. *Official Website of the Federal State Statistics Service*. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistic> (accessed: 15.11.2024). (In Russ.).
6. Donskikh A.K., Barabanov V.F., Grebennikova N.I., Belykh M.A. Review of the Architecture of Intelligence Control Systems Based on Utility and Behavior Tree. *Bulletin of Voronezh State Technical University*. 2021. Vol. 17. № 2. P. 36–41. (In Russ.).
7. Millington I. *Artificial Intelligence for Games*. London: Morgan Kaufmann Publishers, 2006. 856 p.
8. Navigation System. *Epic Games Unreal Engine Documentation*. URL: [https://dev.epicgames.com/documentation/ru-ru/unreal-engine/navigation-system-in-unreal-engine?application\\_version=5.3](https://dev.epicgames.com/documentation/ru-ru/unreal-engine/navigation-system-in-unreal-engine?application_version=5.3) (accessed: 15.11.2024).
9. Smart Objects Quick Start. *Unreal Engine 5.5 Documentation*. URL: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/smart-objects-in-unreal-engine---quick-start> (accessed: 15.11.2024).
10. Ladosha E.N., Khmyrova A.D. Application of Artificial Intelligence in the Process of 3D Modeling of Complex Architectural Objects. *Scientific Leader*. 2024. № 19 (169). P. 19–22. (In Russ.).

### Информация об авторах

**И.В. Пономарев**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математического анализа, Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия;

**Б.Б. Якимов**, студент Института математики и информационных технологий, Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия.

***Information about the authors***

**I.V. Ponomarev**, Candidate of Sciences in Physics and Mathematics, Associate Professor of the Department of Mathematical Analysis, Altai State University, Barnaul, Russia;

**B.B. Yakimov**, Undergraduate Student of the Institute of Mathematics and Information Technology, Altai State University, Barnaul, Russia.