

Разработка правил моделирования перемещения пешеходов

С.С. Буров, Д.С. Парыгин, Н.М. Рашевский

Волгоградский государственный технический университет

sergey.burovic@gmail.com, dparygin@gmail.com,
rashevsky.n@gmail.com

Аннотация

Одной из неотъемлемых составляющих городской мобильности является пешеходное движение. Прогнозирование перемещения людей становится требованием безопасности и комфорта жизнедеятельности как в условиях ограниченных пространств крупных объектов инфраструктуры или мест проведения мероприятий, так и в густонаселенных урбанизированных территориях в целом. В статье рассматриваются вопросы моделирования движения людей с точки зрения различных подходов к построению моделей, а также при применении спектра современных специализированных программных комплексов. Предлагаются правила моделирования перемещения акторов в условиях модели открытой городской среды на основе приоритета базовых активностей человека. Описываются основные особенности реализации программного комплекса модулей и тестовое моделирование с его помощью на участке карты города.

Ключевые слова: моделирование, город, перемещение пешеходов, правила изменения потребностей.

Библиографическая ссылка: Буров С.С., Парыгин Д.С., Рашевский Н.М. Разработка правил моделирования перемещения пешеходов // Информационное общество: образование, наука, культура и технологии будущего. Выпуск 6 (Труды XXV Международной объединенной научной конференции «Интернет и современное общество», IMS-2022, Санкт-Петербург, 23 – 24 июня 2022 г. Сборник научных статей). — СПб.: Университет ИТМО, 2022. С. 187-196. DOI: 10.17586/2587-8557-2022-6-187-196.

1. Введение

При решении задач городской мобильности огромное внимание уделяется вопросу организации автомобильного трафика, что объективно обусловлено сопутствующими проблемами, вызванными образованием заторов на дорогах. Эта проблема, безусловно, касается огромного количества людей по всему миру, как только они принимают на себя роль водителя или пассажира транспортного средства. Но буквально каждому человеку, выходящему на улицу, в первую очередь, приходится примерять на себя роль пешехода. И в этой роли каждый из нас становится один на один с окружающей средой при решении индивидуально задачи перемещения до выбранной цели в безграничном и, в тоже время, ограниченном множестве препятствий пространстве.

На сегодняшний день существуют решения, помогающие спроектировать пешеходную инфраструктуру. Хотя зачастую такие решения имеют ограниченный функционал, связанный с локальными потребностями людей на ограниченном участке местности. И с точки зрения индивидуального целеполагания конкретного человека не учитываются такие факторы, как распорядок дня, рабочее расписание или потребности. Человек скорее рассматривается как массовое явление, оказывающее воздействие в соответствии

с набором установок. В таком случае можно говорить о поведении некоторых социальных групп, но не отдельных людей.

Таким образом, построение путей в конкретном районе становится менее объективным, чем могло бы быть с учетом индивидуальных факторов, благодаря которым человек выбирает тот или иной путь движения в зависимости от его собственных целей и потребностей. Для поддержки проектирования пешеходной инфраструктуры, наиболее соответствующей условиям реальной жизни, встает задача разработки подхода к моделированию перемещений с учетом целей и потребностей отдельных пешеходов.

2. Существующие подходы к моделированию движения пешеходов

Среди существующих моделей пешеходных потоков можно выделить несколько основных [1]:

- модель притягивающихся сил;
- модели, использующие теорию очередей;
- клеточные автоматы [2];
- газо-кинетическая модель;
- модель социальных сил [3];
- расчетные модели.

Сегодня моделирование движения пешеходов является зачастую обязательным этапом при проектировании зданий, в особенности крупных общественных пространств, таких как торговые центры, аэропорты, вокзалы или спортивные комплексы. Для точного и быстрого решения таких задач применяются современные средства, основанные на технологии имитационного моделирования [4].

На данный момент существует большое разнообразие программ имитационного моделирования транспортных задач. Популярность приобрели такие решения как AnyLogic (The AnyLogic Company, Russia), VISSIM (компонент пакета PTV Vision, PTV AG, Karlsruhe, Germany), Aimsun (TSS-Transport Simulation Systems, Spain) и другие [5].

Современные программные средства отвечают проблематике текущей ситуации. Так, в PTV Visum 2021 одной из главных функций стала возможность моделирования социальной дистанции в общественном транспорте и реакций пассажиров [6].

При этом в России уже накоплен значительный научный и практический опыт решения различных задач моделирования пешеходных потоков [7]. Так, например, компания ООО «А+С Транспроект» создавала микро- и макромодели Имеретинской низменности для Зимних Олимпийских игр в Сочи 2014 года и Чемпионата мира по футболу 2018 года и других объектов [8]. На базе разработанных моделей выполнялась оптимизация расположения естественных и искусственных препятствий (здания или зеленые насаждения) для того, чтобы гарантировать требуемый уровень обслуживания и эффективное управление пешеходными и транспортными потоками уже на этапе планирования массовых мероприятий [3].

Общая особенность большинства применяемых сегодня акторных систем пешеходных потоков, таких как Ant Road Planner, связана с ориентацией на моделирование «замкнутых» пространств, т.е. территорий или объектов, в которых количество целей пешеходов заведомо ограничено. Для своей работы они требуют ручного дополнения данных района моделирования, а также не имеют возможности автоматического создания истоков и стоков пешеходов [9]. Такие программные средства прекрасно справляются с поставленными задачами и находят свое практическое применение при пространственном планировании, учитывающим поведенческие особенности людей при перемещении в пространстве с объявленными целями [10].

Кроме того, начинают появляться решения, учитывающие множественный уровень целеполагания моделируемых пешеходов. Библиотека для мультиагентного моделирования пешеходов и транспорта FusionCrowd [11] предполагает разделение

поведения агента на уровне (стратегический, тактический и операционный), чем достигается гибкость настройки поведения агента. Такое выделение уровней целеполагания пешеходов является основой для построения моделей, не ограниченных замкнутыми точками притяжения агентов. Целью данного исследования является решение проблемы учета свойств акторов в процессе построения пешеходных маршрутов в открытом мире.

3. Правила моделирования перемещения акторов

Предлагаемые правила для моделирования пешеходных перемещений соответствуют общим принципам моделирования, заложенным в основу системы OSMLS [12].

Опишем правила инициализации акторов в модели. Базовый класс актора должен быть описан в модуле ActorModule. Акторы должны включать в себя следующие свойства:

- голод;
- усталость;
- скорость перемещения;
- точка дома;
- время начала и время окончания рабочего дня;
- точка работы.

Набор свойств актора не содержит точек притяжения, т.к. они выбираются в процессе моделирования, исходя из списка ближайших к актору объектов участка карты, на основе тегов объектов. Процесс выбора точки притяжения начинается при возникновении у конкретного актора соответствующей потребности. Точки притяжения являются общими для всех акторов.

Инициализация акторов (создание и размещение акторов на участке карты) должна производиться в модуле инициализации (ActorInitializationModule), исходя из следующих правил:

- для каждого подъезда жилого здания создается число акторов, равное количеству этажей здания, умноженному на 3 (если в здании отсутствует информация об этажности, следует принять количество этажей равным 1);
- зданием является любой полигон (OsmClosedWay в интерпретации CityDataExpansionModule) на карте, имеющий тег “building”;
- жилым является здание, имеющее тег “building=apartments”;
- подъездом является точка здания, имеющая тег “entrance”;
- при создании актора в качестве его начальной координаты и точки дома задается точка подъезда здания, в которой он был создан;
- значения голода и усталости актора должны быть заданы случайными величинами в диапазоне от 0 (включительно) до 54 (включительно);
- значение скорости актора должно быть задано случайной величиной в диапазоне от 1 (включительно) до 3 (включительно);
- значение рабочего времени актора должно быть задано в диапазоне от 8 до 16 часов;
- значение точки работы актора должно быть задано в виде случайной точке подъезда рабочего здания;
- рабочими зданиями являются здания, имеющие тег “building=office” или “building=retail”.

Таким образом, вариативность в движении акторов учитывается с помощью генерации случайных величин при выборе места жительства актора, места работы актора, а также его значений голода, усталости и скорости.

Правила изменения потребностей акторов. Динамика изменения потребностей актора зависит от его текущей активности.

Конкретное значение динамики изменения потребностей для каждого из видов активности было выбрано на основе ряда тестовых запусков. Правила изменения потребностей описаны в таблице 1.

Таблица 1. Правила изменения потребностей акторов

Текущая активность	Изменение значения голода в секунду	Изменение значения усталости в секунду
Любая (суммируется с остальными активностями)	+0.0005	+0.0005
Пешее перемещение актора по карте	+0.0005	+0.0005
Работа	+0.0005	+0.0005
Удовлетворение потребности в еде	-0.002	0
Отдых дома	-0.001	-0.001
Отдых в общественном месте	0	-0.002

Рассмотрим подробнее правила распределения активностей акторов. Значение порога статусов (диапазон значения голода или усталости между двумя разными статусами) задается как 10,8 на основе базовых констант, условно принятых для моделирования (см. табл. 2).

Таблица 2. Базовые константы моделирования

Название константы	Значение константы
Часов в дне	24
Часов сна	9
Часов бодрствования	15
Секунд бодрствования	54000
Количество статусов	5
Длительность в секундах одного статуса	10800
Значение порога статусов	10,8

На основе значения порога статусов задаются коэффициенты, а также верхняя и нижняя граница каждого из статусов (см. табл. 3).

Таблица 3. Границы статусов голода

Статус голода	Статус усталости	Коэффициент	Нижняя граница	Верхняя граница
Доволен (Satisfied)	Отдохнувший (Rested)	0	-	10,8
Немного голоден (A little hungry)	В норме (Normal)	1	10,8	21,6
Довольно голоден (Pretty hungry)	Уставший (Tired)	2	21,6	32,4
Очень голоден (Very hungry)	Очень уставший (Very tired)	3	32,4	43,2
Изголодавшийся	Истощенный (Exhausted)	4	43,2	-

Приоритеты всех активностей (кроме рабочей) рассчитываются на основе коэффициентов статусов потребностей актора:

- приоритет активности удовлетворения потребности в еде эквивалентен коэффициенту голода, умноженному на 52;
- приоритет активности проведения досуга в доме эквивалентен коэффициенту голода, умноженному на 30, прибавленному к коэффициенту усталости, умноженному на 30;
- приоритет активности проведения досуга в общественных местах эквивалентен коэффициенту усталости, умноженному на 52.

При этом приоритеты рабочей активности не зависят от статуса голода и усталости актора, а задаются только на основе статуса рабочего времени.

Активность пешего перемещения актора по карте имеет такой же приоритет, как и ранее описанные активности. Приоритет данной активности должен зависеть от цели перемещения актора: место работы, место удовлетворения потребности в еде, дом или общественное место отдыха.

Конечные точки активностей пешего перемещения определяются типом пешей активности (см. табл. 4).

Таблица 4. Конечные точки активностей пешего перемещения актора

Тип пешей активности	Правило выбора точки назначения
Перемещение к точке работы	— должна выбираться точка работы, заданная актору на этапе инициализации
Перемещение к месту удовлетворения потребности в еде	— должен составляться список зданий, имеющих тег “amenity=cafe” / “amenity=restaurant” / “amenity=fast_food”; — для каждого здания из составленного списка должна выбираться его произвольная точка; — из списка точек должна выбираться ближайшая к актору точка
Перемещение к дому	— должна выбираться точка дома, заданная актору на этапе инициализации
Перемещение к общественному месту отдыха	— должен составляться список зданий, имеющих тег “leisure” / “amenity=internet_cafe” / “amenity=bar” / “amenity=cinema” / “amenity=theatre”; — для каждого здания из составленного списка должна выбираться его произвольная точка; — из списка точек должна выбираться ближайшая к актору точка

4. Основные особенности реализации и тестовое моделирование на участке карты

Тестирование и разработка комплекса модулей для моделирования пешеходных маршрутов осуществляется с помощью системы моделирования OSMLS [12, 13].

В разработке также используются ранее созданные вспомогательные модули:

— CityDataExpansionModule [14, 15] для упрощения работы с файлом участка карты OpenStreetMap [16];

— PathsFindingModule [17] для поиска маршрутов на карте.

Каждый из модулей данного комплекса модулей, как и ряд вспомогательных модулей, наследуется от базового абстрактного класса OSMLSModule, в соответствии с требованием системы моделирования (это позволяет системе моделирования отделять классы модулей от других классов, при импорте сборок).

Для создания данного комплекса модулей также используется несколько атрибутов из системы моделирования:

— атрибут порядка инициализации модуля, который позволяет задать порядок инициализации относительно других модулей;

— атрибут стиля акторов, который позволяет стиль актору в формате библиотеки openlayers [18];

— атрибут обозреваемого свойства, который позволяет выделить любое свойства объекта моделирования или модуля для отправки его в графический интерфейс пользователя.

Актором в системе моделирования является любой объект, наследующийся от интерфейса IActor и являющийся геометрией библиотеки NetTopologySuite [19]. В платформе моделирования объявлено несколько базовых классов акторов, от которых происходит дальнейшее наследование.

Перед началом тестовой работы была запущена система моделирования OSMLS, не имеющая предварительно подключенных модулей. С помощью функционала добавления сборок системы администрирования [13] платформы моделирования были добавлены *.dll файлы модулей. Модули из добавленных сборок были подключены к модели.

После запуска моделирования выполняется генерация акторов, которые начинают движение вдоль прокладываемых маршрутов (см. рис. 1). Для контрольного моделирования использовалось несколько участков карты (см. рис. 2).



Рис. 1. Движение акторов вдоль прокладываемых пешеходных маршрутов на тестовом участке

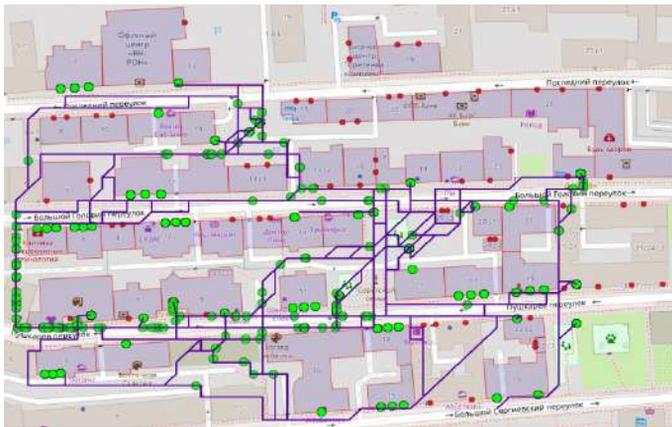


Рис. 2. Движение акторов вдоль прокладываемых пешеходных маршрутов на альтернативном участке карты

В результате работы, согласно обозначенным правилам моделирования, выявлено соответствие начальных состояний значений голода (Hunger), усталости (Fatigue) и скорости (Speed) требуемому диапазону значений. В пользовательском интерфейсе отображается информация (см. рис. 3), свидетельствующая о том, что значения голода и усталости находятся в диапазоне от 0 до 54, что соответствует требованию правил моделирования. Значение скорости находится в диапазоне от 1 до 3.

Кроме того, в системе администрирования была отображена информация о построенных пешеходных маршрутах: их координатах и частоте использования.

Таким образом, на основе проведенной демонстрации на тестовом участке карты, можно сделать вывод, что разработанный комплекс модулей соответствует заявленным правилам моделирования.

Hunger	Speed	Activity	Fatigue	Fatigue Status	Hunger Status
22.367790884698867	1.1925320598262046	Resting in public resting place	40.80757786142336	VeryTired	Pretty hungry
43.042590515381846	2.080299611706426	Eating in public place	12.994578804542435	Normal	Very hungry
32.754479556696964	1.1861390844854243	Eating in public place	10.948446783840966	Normal	Very hungry

Рис. 3. Значения свойств акторов-пешеходов

5. Заключение

В результате данной работы были сформированы и описаны правила моделирования, на основе которых был создан комплекс модулей поддержки принятия решений при проектировании сети пешеходных маршрутов. Предложенные правила формируют метод проектирования сети пешеходных маршрутов, который, в отличие от существующих, позволяет, при создании модели передвижения пешеходов, автоматически создавать истоки и стоки пешеходов, что снижает затраты времени на процесс принятия решений при проектировании сети пешеходных маршрутов.

Разработанная на основе предложенных правил система позволяет учитывать в процессе моделирования цели пешеходов на основе их базовых потребностей, что может помочь в проектировании наиболее соответствующих условиям реальной жизни пешеходных маршрутов. В качестве архитектуры разрабатываемой системы был выбран модульный подход. Основополагающая часть системы включает в себя платформу моделирования OSMLS и пользовательский интерфейс, во время работы которых к ним могут быть подключены дополнительные модули, отвечающие за обработку участка карты, поиск пешеходных маршрутов, отслеживание выстраиваемых акторами маршрутов и т.д. В качестве источника картографических данных используется сервис OpenStreetMap.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-11-20024, <https://rscf.ru/project/22-11-20024/>, и Волгоградской области. Авторы выражают благодарность коллегам по лаборатории UCLab и кафедре «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве» ИАиС ВолГТУ, принимавшим участие в разработке проекта.

Литература

- [1] Введение в моделирование пешеходных потоков // Хабр — крупнейший в Европе ресурс для IT-специалистов. URL: <https://habr.com/ru/post/158975/> (дата обращения 23.04.2022).
- [2] Sarmadya S., Harona F., Talib A.Z. Simulation of Pedestrian Movements Using Fine Grid Cellular Automata Model. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1406/1406.3567.pdf> (дата обращения 23.04.2022).

- [3] Моделирование пешеходных потоков // Национальное общество имитационного моделирования. URL: <http://simulation.su/uploads/files/default/incomplete-sim-pesh-potok.pdf> (дата обращения 23.04.2022).
- [4] Моделирование пешеходных потоков с помощью AnyLogic // The AnyLogic Company. URL: <https://www.anylogic.ru/resources/educational-videos/modelirovanie-peshехodnykh-potokov-s-pomoshchyu-anylogic/> (дата обращения 25.04.2022).
- [5] Sistuk V.O., Bohachevskiy A.O., Shumskiy V.Yu. PTV VISSIM simulation software use for professionals in «transport technologies» and «automobile transport» specialties training // Information Technologies and Learning Tools. Vol. 52. № 2. 2016. DOI: 10.33407/itlt.v52i2.1384.
- [6] Новое поколение программ PTV 2021. URL: https://ptv-vision.ru/news/novye_pokolenye_programm_ptv_2021 (дата обращения 23.04.2022).
- [7] Моделирование пешеходных потоков. URL: <https://3ksigma.com/> (дата обращения 21.04.2022).
- [8] Моделирование массовых мероприятий // SIMETRA – центр компетенций в области моделирования транспортных потоков и транспортного планирования. URL: https://apluss.ru/activities/transportnyu_konsalting/massovye_meropriyatiya (дата обращения 25.04.2022).
- [9] Ant Road Planner // Сервис для симуляции движения пешеходов. URL: <https://antroadplanner.ru/> (дата обращения 24.04.2022).
- [10] Dias C., Abdullah M., Sarvi M., Lovreglio R., Alhajyaseen W. Modeling and Simulation of Pedestrian Movement Planning Around Corners // Sustainability. 2019. Vol. 11. № 19. 5501. DOI: 10.3390/sul1195501.
- [11] FusionCrowd // Библиотека для мультиагентного моделирования пешеходов и транспорта. URL: <https://actcognitive.org/platformy/fusioncrowd> (дата обращения 21.04.2022).
- [12] Parygin D., Usov A., Burov S., Sadovnikova N., Ostroukhov P., Pyannikova A. Multi-agent Approach to Modeling the Dynamics of Urban Processes (on the Example of Urban Movements) // Communications in Computer and Information Science: Proceedings of the 6th International Conference on Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia (EGOSE 2019), St. Petersburg, Russia, 13–14 November 2019. Springer. 2020. Vol. 1135. P. 243–257. DOI: 10.1007/978-3-030-39296-3_18.
- [13] Burova A., Burov S., Parygin D., Gurtyakov A., Rashevskiy N. Distributed Administration of Multi-Agent Model Properties // CEUR Workshop Proceedings: 24rd International Conference “Internet and Modern Society”, IMS 2021, St. Petersburg, Russia, 23–26 June 2021. Vol. 3090. P. 24–33. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-3090/paper02.pdf> (дата обращения 21.04.2022).
- [14] Бурова А.А., Буров С.С., Парыгин Д.С., Финогеев А.Г., Смирнова Т.В. Панель администрирования платформы многоагентного моделирования с возможностью построения графических отчетов // International Journal of Open Information Technologies. 2021. Т. 9. № 12. С. 4–14. URL: <http://injoit.org/index.php/j1/article/view/1225/1161> (дата обращения 21.04.2022).
- [15] Бурова А.А., Буров С.С., Парыгин Д.С., Финогеев А.А., Рент В.Э. Разработка модуля управления данными об объектах на онлайн-карте города // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2021. № 1 (53). С. 18–27. DOI: 10.21672/2074-1707.2021.53.1.018-027.
- [16] OpenStreetMap // Некоммерческий веб-картографический проект по созданию подробной и бесплатной географической карты мира. URL: www.openstreetmap.org (дата обращения 24.04.2022).
- [17] Парыгин Д.С., Буров С.С., Анохин А.О., Финогеев А.Г., Голубев А.В. Платформа для моделирования массовых перемещений людей в условиях городской среды //

Программные продукты и системы. 2021. Т. 34. № 2. С. 354-364. DOI: 10.15827/0236-235X.134.354-364.

- [18] OpenLayers // A high-performance, feature-packed library for all your mapping needs. URL: <https://openlayers.org> (дата обращения 24.04.2022).
- [19] NetTopologySuite // GitHub flow is a lightweight, branch-based workflow that supports teams and projects where deployments are made regularly. URL: <https://github.com/NetTopologySuite/NetTopologySuite/blob/develop/README.md> (дата обращения 21.04.2022).

Development of Rules for Modeling the Movement of Pedestrians

S.S. Burov, D.S. Parygin, N.M. Rashevskiy

Volgograd State Technical University

Pedestrian traffic is one of the integral components of urban mobility. Predicting the movement of people is becoming a requirement for the safety and comfort of life both in the conditions of limited spaces of large infrastructure facilities, or venues for events, and in densely populated urban areas in general. The article discusses the issues of modeling the movement of people from the point of view of various approaches to building models, as well as using a range of modern specialized software systems. Rules for modeling the movement of actors in an open urban environment model based on the priority of basic human activities are proposed. The main features of the implementation of the software package of modules and test modeling with its help on the site of the city map are described.

Keywords: modeling, city, pedestrian movement, rules for changing needs.

Reference for citation: Burov S.S., Parygin D.S., Rashevskiy N.M. Development of Rules for Modeling the Movement of Pedestrians // Information Society: Education, Science, Culture and Technology of Future. Vol. 6 (Proceedings of the XXV International Joint Scientific Conference «Internet and Modern Society», IMS-2022, St. Petersburg, June 23-24, 2022). - St. Petersburg: ITMO University, 2022. P. 187 – 196. DOI: 10.17586/2587-8557-2022-6-187-196.

Reference

- [1] Introduction to Modeling Pedestrian Flows // Habr is Europe's largest resource for IT specialists. URL: <https://habr.com/ru/post/158975/> (access date: 04.23.2022). (In Russian).
- [2] Sarmadya S., Harona F., Talib A.Z. Simulation of Pedestrian Movements Using Fine Grid Cellular Automata Model. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1406/1406.3567.pdf> (access date: 04.23.2022).
- [3] Simulation of pedestrian flows // National Society of Simulation Modeling. URL: <http://simulation.su/uploads/files/default/incomplete-sim-pesh-potok.pdf> (access date: 04.23.2022). (In Russian).
- [4] Simulation of pedestrian flows using AnyLogic // The AnyLogic Company. URL: <https://www.anylogic.ru/resources/educational-videos/modelirovanie-peshekhodnykh-potokov-s-pomoshchyu-anylogic/> (access date: 04.23.2022). (In Russian).
- [5] Sistuk V.O., Bohachevskiy A.O., Shumskiy V.Yu. PTV VISSIM simulation software use for professionals in «transport technologies» and «automobile transport» specialties training. Information Technologies and Learning Tools. 2016. Vol. 52. № 2. DOI: 10.33407/itlt.v52i2.1384.
- [6] A new generation of PTV programs 2021. URL: https://ptv-vision.ru/news/novye_pokolenye_programm_ptv_2021. (access date: 04.23.2022). (In Russian).

- [7] Simulation of pedestrian flows. URL: <https://3ksigma.com/> (access date: 04.23.2022). (In Russian).
- [8] Modeling of mass events // SIMETRA – competence center in the field of traffic flow modeling and transport planning. URL: https://apluss.ru/activities/transportnyy_konsalting/massovye_meropriyatiya (access date: 04.23.2022). (In Russian).
- [9] Ant Road Planner // A service for simulating pedestrian traffic. URL: <https://antroadplanner.ru/> (access date: 04.23.2022). (In Russian).
- [10] Dias C., Abdullah M., Sarvi M., Lovreglio R., Alhajyaseen W. Modeling and Simulation of Pedestrian Movement Planning Around Corners // *Sustainability*. 2019. Vol. 11. № 19. 5501. DOI: 10.3390/su11195501.
- [11] FusionCrowd // Library for multi-agent modeling of pedestrians and transport. URL: <https://actcognitive.org/platformy/fusioncrowd>. (access date: 04.23.2022). (In Russian).
- [12] Parygin D., Usov A., Burov S., Sadovnikova N., Ostroukhov P., Pyannikova A. Multi-agent Approach to Modeling the Dynamics of Urban Processes (on the Example of Urban Movements) // *Communications in Computer and Information Science: Proceedings of the 6th International Conference on Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia (EGOSE 2019)*, St. Petersburg, Russia, 13–14 November 2019. Springer. 2020. Vol. 1135. P. 243–257. DOI: 10.1007/978-3-030-39296-3_18.
- [13] Burova A., Burov S., Parygin D., Gurtyakov A., Rashevskiy N. Distributed Administration of Multi-Agent Model Properties // *CEUR Workshop Proceedings: 24rd International Conference “Internet and Modern Society”, IMS 2021*, St. Petersburg, Russia, 23–26 June 2021. Vol. 3090. P. 24–33. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-3090/paper02.pdf> (access date: 21.04.2022).
- [14] Burova A.A., Burov S.S., Parygin D.S., Finogeev A.G., Smirnova T.V. Administration panel of the multi-agent modeling platform with the ability to build graphical reports // *International Journal of Open Information Technologies*. 2021. T. 9. № 12. P. 4–14. URL: <http://injoit.org/index.php/j1/article/view/1225/1161> (access date: 21.04.2022). [In Russian].
- [15] Burova A.A., Burov S.S., Parygin D.S., Finogeev A.A., Rent V.E. Development of an object data management module on an online city map // *Caspian Journal: Management and High Technologies*. 2021. № 1 (53). P. 18-27. DOI: 10.21672/2074-1707.2021.53.1.018-027. (In Russian).
- [16] OpenStreetMap // A non-commercial web mapping project to create a detailed and free geographical map of the world. URL: www.openstreetmap.org (access date: 21.04.2022).
- [17] Burov S.S., Anokhin A.O., Finogeev A.G., Golubev A.V. A platform for modeling mass movement of people in an urban environment // *Software products and systems*. 2021. Vol. 34. № 2. P. 354-364. DOI: 10.15827/0236-235X.134.354-364. (In Russian).
- [18] OpenLayers // A high-performance, feature-packed library for all your mapping needs. URL: <https://openlayers.org> (access date: 21.04.2022).
- [19] NetTopologySuite // GitHub flow is a lightweight, branch-based workflow that supports teams and projects where deployments are made regularly. URL: <https://github.com/NetTopologySuite/NetTopologySuite/blob/develop/README.md> (access date: 21.04.2022).