

Электронное моделирование

УДК 681.015.5:004.414.23

В. О. Шарова

Кафедра «Интеллектуальные транспортные системы»,
Московский государственный университет путей сообщения
Императора Николая II

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАССАЖИРОПОТОКА НА СТАНЦИИ «КИЕВСКАЯ» МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

Рассмотрена проблематика низкой пропускной способности Московского метрополитена на примере станции метро «Киевская» Кольцевой и Арбатско-Покровской линий. Показаны возможные варианты решения данной проблемы, математическая модель возможного решения. С помощью программного пакета 3ds MAX произведен сравнительный анализ инструментов моделирования и методов моделирования транспортных потоков. Использована теория транспортных процессов В. В. Доенина для моделирования интеллектуальных транспортных потоков. Выявлены особенности моделирования потоков пассажиров в метрополитене.

интеллектуальные транспортные потоки; транспортные процессы; 3-D-моделирование; 3ds MAX-моделирование пассажиропотока в метрополитене; имитационное моделирование, тематическое моделирование

Введение

В Москве, как и в любой столице мира, существует проблема перенаселенности и, как следствие, – транспортные проблемы. Хотя сфера транспорта в городе достаточно развита, он не справляется с потоками пассажиров в часы «пик». Это обусловлено несколькими факторами: во-первых, Москва – столица, в которую стремятся как жители России, так и иностранные граждане, во-вторых, население растет, в-третьих, непродумана транспортная организация города. На метрополитен, на всех его направлениях, ложится тяжелая нагрузка в виде огромного потока пассажиров.

Метрополитен сталкивается с такими трудностями, как скопление людей у турникетов, на платформах, в вестибюлях, что может привести к давке, а иногда и к несчастным случаям. Некоторые станции изначально не были рассчитаны на такое количество пассажиров, на других неправильно орга-

низован пассажиропоток. На некоторых переходах не хватает эскалаторов. Существуют станции, на которых потоки пассажиров пересекаются, что приводит к затруднению передвижения пассажиров и в конечном итоге к «заторам».

Решить все эти проблемы можно как радикальными способами (перепланировка станций, строительство дополнительных входов и выходов), так и совершенствованием управления (организацией и распределением пассажиропотока) [1]. Но перед тем как применять хотя бы один из способов на практике, нужно проверить и оценить его эффективность. Для этих целей следует применять математическое моделирование. Главная задача математических моделей – прогнозирование, определение и оптимизация всех параметров функционирования транспортной сети, таких, например, как интенсивность движения по всей сети или объемы перевозок, средние скорости движения и пр. [2].

1 Сравнительный анализ инструментов моделирования и методов моделирования транспортных потоков

Математическую модель можно определить как приблизительное описание каких-либо классов явлений или объектов реального мира на математическом языке [3]. Математическое моделирование – не только исследование этих объектов и прогнозирование, но и метод познания окружающего мира, позволяющий управлять им [4].

Существуют различные типы математических моделей. Некоторые из них часто используются и применяются на практике при моделировании транспортных систем. Известно несколько классификаций математических моделей [5, 6].

Возможность моделирования интеллектуальных транспортных потоков, какими и являются потоки пассажиров в вестибюлях и на переходах метрополитена, дает теория транспортных процессов В. В. Доенина [7]. Данная теория позволяет использовать для моделирования процессы и элементы, характеризующие особенности метрополитена [8, 9].

2 Интеллектуальные транспортные потоки

При изучении свойств транспортных процессов и систем особый интерес вызывают транспортные потоки, в которых каждый элемент управляет своим движением самостоятельно, исходя из своей собственной логики и с учетом, а иногда и без, того, как движутся другие объекты, в целом образуя некоторую систему.

Интеллектуальным транспортным объектом называется транспортный объект, который обладает способностью управлять своим перемещением в соответствии со своей определенной логикой.

Интеллектуальным транспортным потоком называется дискретный транспортный поток, управление процессом которого реализуется либо централизованно, либо автономно, либо комбинированным способом.

Из этого следует, что современные транспортные системы являются интеллектуальными транспортными системами, сочетают в себе различные варианты управления, согласованные друг с другом в зависимости от решаемых задач.

Рассмотрим разные варианты управления. Примером систем, в которых транспортные объекты лишены возможности самостоятельного принятия решений по управлению своим движением, являются системы управления движением поездов на железнодорожном транспорте.

В качестве примера системы, где используется автономная система управления, можно привести систему передвижения пешеходов на открытых территориях, где этому процессу не препятствуют иные системы.

Нередко интеллектуальные транспортные потоки являются неструктурированными транспортными потоками, поскольку осуществляются по путям, выбираемым автономно, самостоятельно и при этом непосредственно по ходу реализации самого процесса движения, а также исходя из существующих в определенный момент времени цели и обстановки [10].

3 Понятие структурируемых транспортных потоков

Для того чтобы можно было различать структурированные и неструктурированные транспортные потоки, нужно уточнить ряд определений.

Транспортные средства, как известно, перемещаясь из одной точки системы в другую, движутся по некоторому пути, образуя тем самым поток. *Путем* называется внешняя среда, используемая для перемещения объектов и формирования направления их движения от одной координаты внешней среды к другой координате этой внешней среды.

Занимая определенный путь, транспортные средства движутся в одном направлении друг за другом, как это происходит, к примеру, при железнодорожном движении, либо перемещаются одновременно и параллельно друг другу по нескольким рядам. При этом по некоторым из них движение, например, может осуществляться в одну сторону, а по другим – в противоположную. Очевидно, что разнонаправленные пути могут пересекаться в каких-то точках системы.

Односторонним путем называется путь, движение по которому осуществляется только в одном заданном направлении, в отличие от двухсто-

ронного, когда движение может осуществляться также и в двух направлениях соответственно.

Пересеченным путем называется тот путь, который имеет точки пересечения с путями других направлений.

Однорядным путем называется путь, имеющий единственный ряд для движения объектов.

Многорядным называется тот путь, движение по которому может осуществляться как в одном, так и двух направлениях, но не менее чем по двум рядам.

Помимо обеспечения возможности перемещения транспортных объектов и формирования направления их движения, путь решает задачу их поведения в подобном динамическом процессе.

Движение объектов в пространстве может носить неупорядоченный, хаотичный и неструктурированный характер. Так, например, ведут себя частицы в броуновском движении.

С другой стороны, движение может оказываться логически последовательным, а не хаотичным, но при этом оно все же будет неупорядоченным и неструктурированным. Так ведут себя, к примеру, люди в местах массовых скоплений.

Транспортный поток называется *неструктурированным*, если движение образующих его объектов не может быть упорядочено какой-либо заданной системой путей и рядов для любого момента времени.

4 Особенности моделирования потоков пассажиров в метрополитене

Моделирование потоков пассажиров как транспортный процесс имеет свои особенности. При моделировании пассажиропотока в метрополитене объектом является пассажир. Действия пассажира соответствуют определенной логике.

Основная задача транспортного процесса – перемещение пассажира из начальной точки пути в конечную. Существуют также подзадачи, т. е. промежуточные действия, которые производит пассажир в процессе достижения цели – перемещения в конечную точку. Применительно к особенностям моделирования потоков пассажиров на станциях и переходах, на входах и выхода метрополитена, задачи пассажира могут быть различны, например, перемещения от входа в метрополитен к платформе, перемещение с одной станции на другую посредством перехода, посадка и высадка в вагон и из вагона соответственно. К подзадачам при этом можно отнести покупку проездного документа, прохождение через турникет, спуск или подъем по эскалатору.

Из-за подобных особенностей при моделировании пассажиропотоков требуется ввести набор специализированных команд. Кроме того, требуется

формализовать такое понятие, как время, потому что моделирование потоков пассажиров в метрополитене привязано ко времени суток вследствие переменной интенсивности потоков.

5 Моделирование в среде 3ds MAX

3ds MAX – один из наиболее популярных программных пакетов, он предназначен для моделирования трехмерной графики, ее визуализации, прекрасно подходит для простых и сложных структурированных трехмерных объектов, таких как здания, животные, люди. Программа, кроме того, позволяет выполнять более точное и глубокое моделирование, включая ветер, освещение, деревья и воду. 3ds MAX считается настоящим лидером среди инструментов моделирования, особенно используемых в дизайне, архитектуре.

Первая версия данного программного пакета под названием 3D Studio DOS была выпущена в 1990 г. Разработкой пакета занималась автономная студия Yost Group, возникшая благодаря программисту Гари Йосту.

Первые четыре года (1990–1994) релизы носили наименование 3D Studio DOS. Затем пакет снова переписали под Windows NT и переименовали в 3D Studio MAX. Нумерация версий началась заново. Актуальная версия носит название Autodesk 3ds MAX2016.

В 3ds MAX интегрирован достаточно мощный модуль анимации, который предоставляет колоссальные возможности для управления различными параметрами смоделированного изображения. Создаваемый при этом видеоряд высокореалистичен. Графическая среда большого количества компьютерных игр была создана в 3ds MAX. К тому же данный пакет широко и успешно используется в киноиндустрии.

Еще один неотъемлемый плюс 3ds MAX состоит в том, что в нем можно получить изображение в одной или же в разных проекциях. При создании проекта в 3ds MAX мы получаем возможность генерирования места действия в неограниченном количестве проекций.

Немаловажно отметить, что наложение теней и света осуществляется автоматически (при желании можно настроить определенные параметры источников света), в то время как в других средах моделирования данная операция должна быть полностью прописана пользователем.

Работа в 3ds MAX делится на четыре этапа:

1. Моделирование – создание начального каркаса модели и структуры объектов, которые в будущем будут визуализированы, создание их математических моделей.

2. Текстурирование – формирование основных визуальных характеристик объекта, наложение на модель различных текстур.

3. Постановка света – 3ds MAX предлагает широкий выбор разных типов источников света, а также огромные возможности для их редактирования и настройки.

4. Рендеринг – получение растрового изображения, т. е. конечного результата.

Математическая модель, созданная на всех предыдущих этапах, модифицируется в изображение или в набор изображений, если речь идет об анимации. Поддерживаются следующие форматы файлов: 3ds, max, lwo, jpg, png [11].

6 Базовые инструменты управления анимацией

В среде 3ds MAX параметрами анимации управляют посредством специальных панелей, которые расположены в нижней части программного окна. Они включают в себя панель управления, временную шкалу (Time Bar) и шкалу треков (Track Bar).

Панель управления содержит кнопки для перехода из кадра в кадр, т. е. для воспроизведения или остановки анимации и определения режима ее воспроизведения. Настройка этого режима происходит в окне конфигурации шкалы времени (Time Configuration), вызываемом при нажатии одноименной кнопки. Здесь можно задать диапазон воспроизведения анимации, ее продолжительность (группа Animation), скорость воспроизведения (группа Playback) и частоту кадров (группа Frame Rate). Диапазон анимации устанавливает общее количество входящих в нее кадров и вычисляется умножением количества секунд на частоту кадров. Скорость воспроизведения позволяет установить способ воспроизведения анимации – оптимальный вариант предполагает включение флажка «режим реального времени» (Real Time). Если плавное движение отображается рывками, данный флажок следует отключить. Частота кадров является основным параметром в анимации модели, так как именно от нее зависит продолжительность и плавность воспроизведения анимации. По умолчанию в 3D Studio MAX установлен американский стандарт телевизионного сигнала (NTSC), который обеспечивает воспроизведение с частотой 30 кадров в секунду – это означает, что каждую секунду демонстрируются 30 кадров. При желании возможно использовать и другие стандарты, такие как европейский стандарт PAL (25 кадров в секунду) и киностандарт Film (24 кадра в секунду) или пользовательский стандарт Custom, который предоставляет право самому пользователю задавать частоту воспроизведения.

Временная шкала Time Bar позволяет перейти на нужный кадр. Для этого достаточно перемещать с помощью мыши ползунков таймера анимации: можно увидеть движение объектов, а запустив при этом анимацию, по положению ползунка слайдера контролировать ее этапы. Для перехода к интересующему кадру достаточно перетащить ползунк.

Шкала треков Track Bar предназначена для визуального отображения номера текущего кадра и имеющихся в анимационном ролике ключей анимации, а также, при надобности, для выполнения некоторых операций с ключами. При этом выделение одного ключа осуществляется посредством нажатия левой кнопки мыши, нескольких ключей – путем удержания клавиши Ctrl. Выделенные ключи перемещаются по шкале треков обычным перетаскиванием или могут быть редактируемы в контекстном меню.

Более подробная настройка анимации осуществляется в редакторе благодаря возможности просмотра треков (Track View). Данный редактор может работать в нескольких режимах в качестве редактора кривых, который называется Curve Editor, или как редактор дескрипторов – Dope Sheet. Наиболее важными этапами управления анимацией через Curve Editor являются создание (кнопка Add Keys позволяет добавить ключи) и перемещение ключевых точек (кнопка Move Keys позволяет переместить ключи), изменение формы кривой и типа ее экстраполяции.

Форма кривой меняется за счет перемещений, имеющихся в ключевых точках касательных (Set Tangents to Custom позволяет вручную редактировать положения касательных). Их можно также настроить автоматически благодаря наличию таких кнопок, как:

- Set Tangents to Auto – приводит к автоматическому сглаживанию кривой до и после ключевой точки;
- Set Tangents to Fast – обеспечивает изменение параметра с ускорением в районе точки ключа, что приводит к ускорению анимации;
- Set Tangents to Slow – задает изменение параметра, при котором происходит замедление движения в районе точки ключа, что влечет за собой замедление анимации;
- Set Tangents to Step – обеспечивает отсутствие изменений анимируемого параметра в интервале между ключами и резкое изменение параметра при достижении ключевого кадра, что приводит к резкому скачку во время движения;
- Set Tangents to Linear – устанавливает равномерное изменение анимируемого параметра;
- Set Tangents to Smooth – обеспечивает плавное изменение анимируемого параметра в районе ключевого кадра.

Один из нижеследующих типов экстраполяции кривых выбирается при нажатии кнопки, которая называется Parameter Curve Out-of-Range Types:

- Constant (постоянный) – сохраняет значения анимирующего параметра вне диапазона по первому и последнему ключам;
- Cycle (циклический) – инициирует повторение анимации по циклу, определяемому в пределах ее диапазона;
- Loop (периодический) – обеспечивает плавное периодическое повторение анимации за счет усреднения значений начала и конца диапазона;

- Ping-Pong (циклически зеркальный) – повторяет анимацию, комбинируя прямое и обратное направление ее развития;
- Linear (линейный) – расширяет анимацию до и после диапазона по линейному закону;
- Relative Repeat (относительно повторяемый) – обеспечивает плавное периодическое повторение анимации за счет совмещения начального и конечного значений диапазона.

Управлять анимацией в данном окне можно посредством создания, редактирования, копирования и удаления ключей анимации, назначения и настройки контроллеров анимации, создания и редактирования, к примеру, трека видимости (Visibility Track) и т. д.

Как и вышеназванные варианты, за работу с анимацией отвечают команды Modifiers => Animation Modifiers (Модификаторы => Анимационные модификаторы) и Animation (Анимация) из командного меню и вкладка Motion (Движение) на командной панели Command Panel [12].

7 Моделирование пассажиропотока на станции метро «Киевская»

Вначале была смоделирована только первая часть объекта, т. е. станция метро «Киевская» Кольцевой линии.

На модели представлены:

1. Вестибюль станции.
2. Турникеты при входе на станцию и при выходе (белые короткие отрезки, сквозь которые проходят пассажиры, представленные фиолетовыми шарами¹; каждый шар представляет собой трех-четырёх рядом идущих пассажиров).
3. Три эскалаторных полотна (соединяют вестибюль станции и зал с турникетами. На рис. 1 видно, что все три эскалаторных полотна полностью заполнены: пассажиры стоят с правой стороны каждого эскалатора и проходят с левой стороны каждого эскалатора).
4. Пара путей следования поездов (на рис. 1 на путях демонстрируются два движущихся поезда; поезда на модели окрашены синим цветом).

¹ Шары созданы посредством примитивных объектов, называемых sphere. Точное количество шаров на представленной модели 1467. При разработке модели возникла проблема моделирования людей, так как модель сделана в масштабе 1:1 и при просмотре, после анимирования движения людей, шаров просто не было видно. Автором статьи было предложено решение об объединении в один шар группы людей в количестве 3–4 человек, к тому же размер шара полностью совпадает с размером группы людей, что позволяет еще раз отметить реалистичность модели [13, 14].

5. Две пары переходов на станции метро «Киевская» Арбатско-Покровской и Филевской линий соответственно (на рис. 1 видно, что пассажиропоток по всем переходам весьма оживленный; значительные «уплотнения» фиолетовых шаров у переходов от станции «Киевская» Кольцевой линии к станциям «Киевская» Арбатско-Покровской и Филевской линий демонстрирует наличие значительных затруднений в движении пассажиров, прибывших на двух поездах на станцию «Киевская» Кольцевой линии и прошедших по соответствующим переходам).

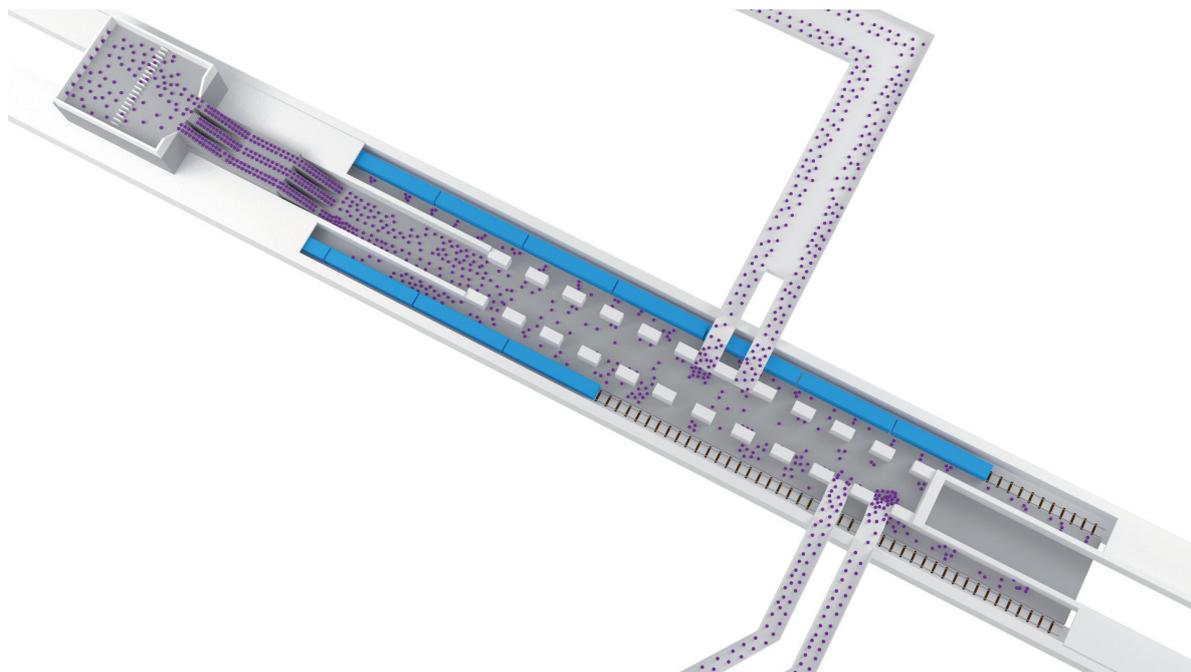


Рис. 1. Модель пассажиропотока на станции метро «Киевская» Кольцевой линии

Конечно, при моделировании хочется точно описать поведение отдельных пассажиров, но при достаточно детальном исследовании поведения пассажиропотока видно, что в большинстве своем люди перемещаются большими или небольшими группами, преследуя одинаковые цели, например осуществить переход с Кольцевой линии станции метро «Киевская» на Арбатско-Покровскую и наоборот.

Если рассматривать более подробно часть модели с эскалаторными полотнами, то здесь возможны две ситуации. Первая заключается в том, что на спуск пассажиров работают два эскалаторных полотна, а на подъем – один. Видно, что при одном работающем на подъем эскалаторе поток становится более плотным и при увеличении нагрузки эскалатор просто не справится с потоком пассажиров. Вторая ситуация диаметрально противоположна предыдущей. Она состоит в том, что на подъем работают два эскалатора, а на спуск – только один. Иначе говоря, при одном эскалаторе, работающем на спуск, движение потока пассажиров будет затруднено.

При детальном рассмотрении модели заметно, что движение потока пассажиров затруднено на переходе на станцию «Киевская» Филевской и Арбатско-Покровской линии в обоих направлениях.

8 Моделирование пассажиропотока на станциях метро «Киевская» Кольцевой и Арбатско-Покровской линий

Макет станции был смоделирован при помощи примитивов, представленных в выбранной автором статьи системе моделирования. В частности, на более используемый примитив в этой системе – box, с помощью которого выполнены стены, пол и т. д. Всем примитивам вручную были заданы соответствующие масштабу размеры [11].

На рис. 2 представлена модель пассажиропотока на станциях метро «Киевская» Кольцевой и Арбатско-Покровской линий. На модели стенам станции был придан материал того цвета, которому он соответствует на схеме метрополитена. На модели станции «Киевская» Кольцевой линии (на рис. 2 – нижняя станция) представлены:

- вестибюль станции;
- турникеты при входе на станцию и при выходе (белые короткие отрезки, сквозь которые проходят пассажиры, представленные зелеными шарами; каждый шар представляет собой трех-четыре рядом идущих пассажиров);
- три эскалаторных полотна (соединяют вестибюль станции и зал с турникетами);
- пара путей следования поездов;
- две пары переходов на станции «Киевская» Арбатско-Покровской и Филевской линий.

На модели станции «Киевская» Арбатско-Покровской линии (рис. 2 – верхняя станция) представлены:

- вестибюль станции;
- пара путей следования поездов;
- две пары переходов и переход в торце станции.

Эта модель подробно демонстрирует проблему перемещения пассажиров на представленных станциях и соответственно на переходах. На вышерассмотренной модели станции метро «Киевская» Кольцевой линии автором статьи были показаны ситуации, при которых на эскалаторных полотнах также наблюдается затруднение перемещения пассажиропотоков, что может привести к печальным последствиям (см. рис. 3). На этом рисунке демонстрируется фрагмент № 1 модели пассажиропотока на станциях метро «Киевская» Кольцевой и Арбатско-Покровской линиях [12, 15, 16].

На данном фрагменте модели хорошо видны распределения пассажиров по переходам станции «Киевская» Арбатско-Покровской линии.

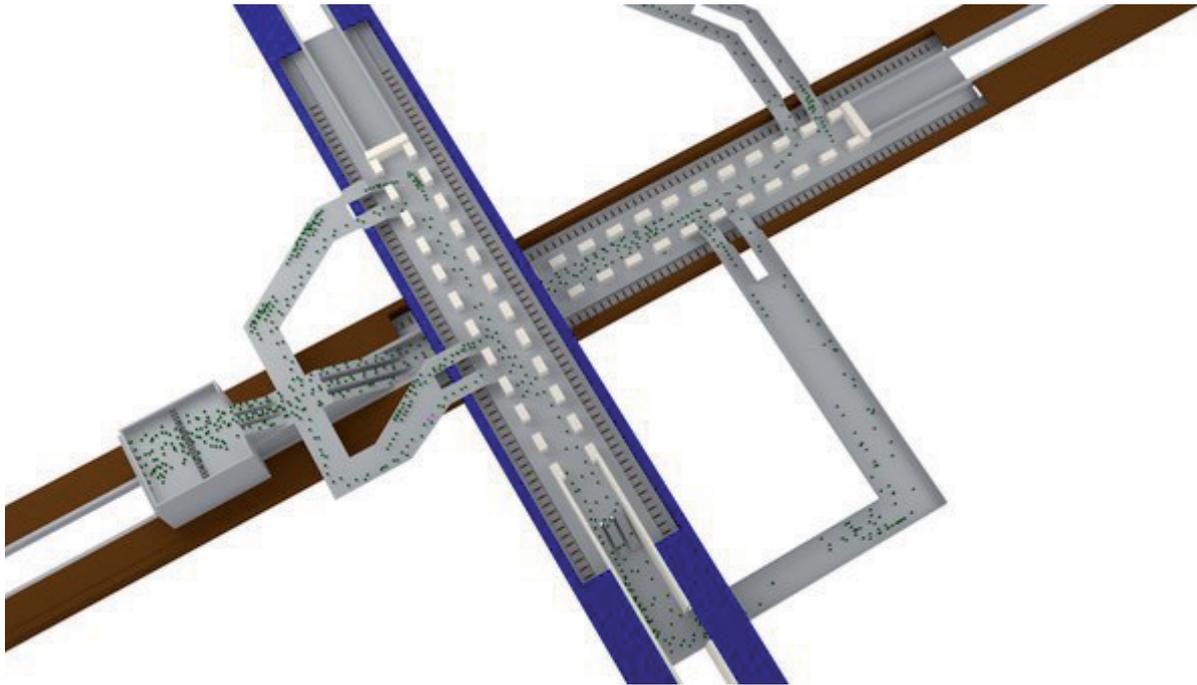


Рис. 2. Модель пассажиропотока на станции метро «Киевская»
Кольцевой Арбатско-Покровской линий

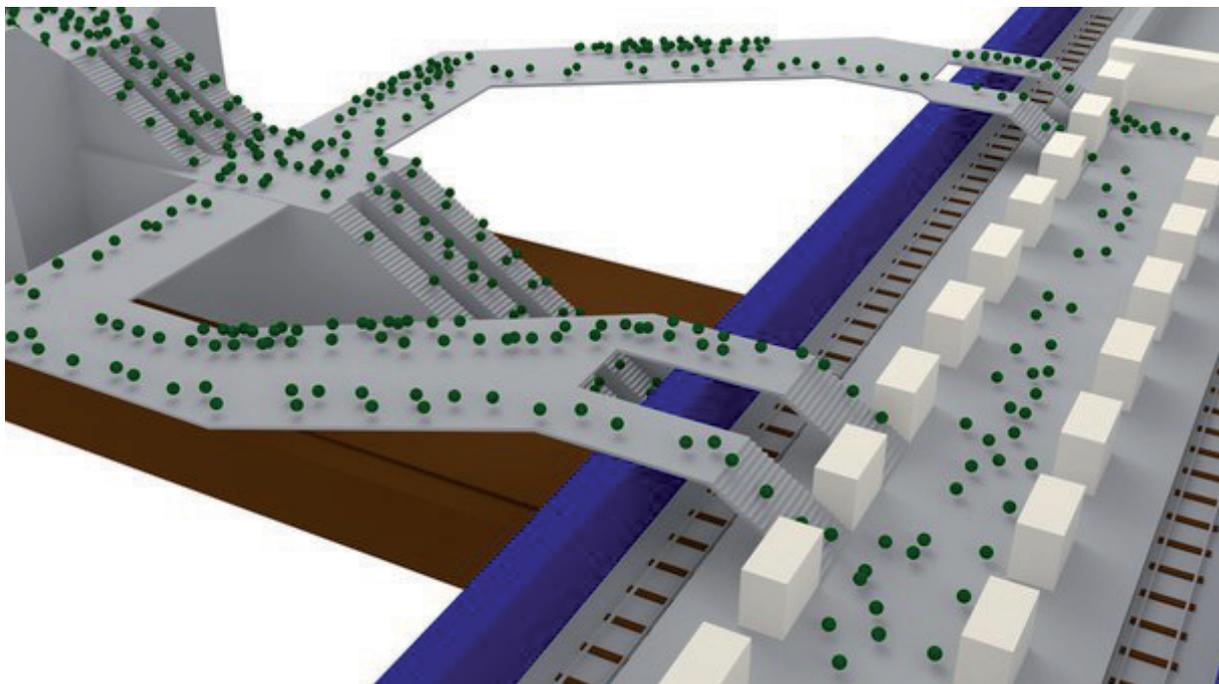


Рис. 3. Фрагмент № 1 модели пассажиропотока на станции метро «Киевская»
Кольцевой и Арбатско-Покровской линий

Возможности демонстрируемой модели могут оказаться весьма полезны при изучении особенностей пассажиропотока на переходах станции в различных практических ситуациях.

Заключение

С использованием программного пакета 3 dsMAX, предназначенного для моделирования трехмерной графики разработана модель пассажиропотока на станции метро «Киевская» Кольцевой и Арбатско-Покровской линий.

С моделированием потоков пассажиров на станциях и переходах метрополитена сопряжено множество задач. Это может быть как моделирование потоков пассажиров в целом, так и исследование показателей пропускной способности на конкретных отрезках станций или переходах. Разработанная автором статьи модель подробно представляет функционирование реальной станции Московского метрополитена. Смоделированы вестибюль станции, турникеты при входе на станцию и при выходе, три эскалаторных полотна, две пары путей следования поездов, пара поездов на станции Кольцевой линии и пара поездов на Арбатско-Покровской линии, сами станции и связанные с ними переходы.

Модель может быть использована для исследования широкого круга проблем, прежде всего проблемы неправильного распределения пассажиропотока на заданной станции. Приведенные в работе примеры практической реализации модели демонстрируют возможности решения проблем в конкретных практических ситуациях.

Библиографический список

1. Советов Б. Я. Моделирование систем : учебник для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 2001. – 343 с.
2. Самарский А. А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – 2-е изд., испр. – М. : Физматлит, 2001. – 319 с.
3. Klar A. A hierarchy of models for multilane vehicular traffic I : Modeling / A. Klar, R. Wegener // SIAM J. Appl. Math. – 1999. – Vol. 59. – Pp. 983–1001.
4. Четверушкин Б. Н. Макро- и микроскопические модели для описания движения автотранспорта на многополосных магистралях / Б. Н. Четверушкин, М. А. Трапезникова, И. Р. Фурманов, Н. Г. Чурбанова // Труды МФТИ. – 2010. – Т. 2. – № 4. – С. 163–168.
5. Евреинова Н. Ю. Моделирование пассажиропотоков в транспортно-пересадочных узлах / Н. Ю. Евреинова // Труды Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспорта» : в 2 т. Т. 2. – М. : МИИТ, 2013. – С. 95–102.

6. Семенов В.В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса / В.В. Семенов. – Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша. – М., 2004. – 240 с.
7. Иносэ Х. Управление дорожным движением / Х. Иносэ, Т. Хамада. – М. : Транспорт, 1983. – 248 с.
8. Greenberg H. An analysis of traffic flow / H. Greenberg // Operations Research. – 1959. – Vol. 7. – Pp. 79–85.
9. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков / В.И. Швецов // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 11. – С. 3–46.
10. Доенин В.В. Адаптация транспортных процессов / В.В. Доенин. – М. : Спутник+, 2009. – 219 с.
11. 3dsMAX. – URL : https://ru.wikipedia.org/wiki/Autodesk_3ds_Max3.
12. Доенин В.В. Моделирование транспортных процессов и систем / В.В. Доенин. – М. : Компания Спутник+, 2012. – 288 с.
13. 3dsMAX. – URL : <http://www.autodesk.ru/products/3ds-max/overview>.
14. Доенин В.В. Адаптация транспортных процессов / В.В. Доенин. – М. : Компания Спутник+, 2009. – 219 с.
15. Доенин В.В. Основы абстрактной теории транспортных процессов и систем / В.В. Доенин. – М. : Компания Спутник+, 2011. – 348 с.
16. Доенин В.В. Логика транспортных процессов / В.В. Доенин. – М. : Компания Спутник+, 2008. – 277 с.

Valeriya O. Sharova

«Intelligent transport reference system» department
Moscow state university of railway engineering

Simulation of passenger traffic on the subway station «Kievskaya»

In this article was considered the problem of the capacity of the Moscow metro, especially the problem of the station «Kievskaya» the Ring and the Arbatsko-Pokrovskaya lines. In the article were adducted possible variants of solution this problem. As one as possible solution was approved concept of the mathematical modelling. In the article was made a comparative analysis of the modelling tools and simulation methods of the traffic flows. In the article was produced the concept of the intelligent transport streams. In the article was used the theory of the transport processes V. V. Doenina for modelling intelligent transport streams. In the article were produced special features of modelling passenger flows in metro. Also was considered software package 3ds MAX (capabilities, basic animation, management tools) and each step of modeling in this package. In the article was

modelling step by step simulation of the metro station «Kievskaya» the Ring and Arbatsko-Pokrovskaya lines.

intelligent traffic flows; transport processes; 3-D modeling; simulation of passenger traffic in the subway; 3ds MAX; simulation models, mathematic simulation

References

1. Sovetov B. J., Yakovlev S. A. (2001). Simulation systems. Proc. for high schools. 3rd ed., ne-rerab. and ext. [Modelirovanie sistem: Ucheb. dlya vuzov – 3-e izd., pererab. i dop]. Moscow, Higher. wk. [Vyssh. shk]. – 343 p.
2. Samarsky A. A., Mikhailov A. P. (2001). Mathematical modeling. Ideas. Methods. Examples. 2nd ed. [Matematicheskoe modelirovanie. Idei. Metody. Primery. – 2-e izd., ispr]. Moscow, Fizmatlit. – 319 p.
3. Klar A., Wegener R. (1999). A hierarchy of models for multilane vehicular traffic I. Modeling. SIAM J. Appl. Math, vol. 59. – Pp. 983–1001.
4. Chetverushkin B. N., Trapeznikova M. A., Furmanov I. R., Churbanova N. G. (2010). Macro and microscopic model to describe the movement of vehicles on multi-lane highways [Makro- i mikroskopicheskie modeli dlya opisaniya dvizheniya avtotransporta na mno-gopolosnyh magistralyah]. Proceedings of MIPT [TRUDY MFTI], vol. 2, N 4. – Pp. 163–168.
5. Evreenova N. Y. (2013). Simulation of passenger traffic in the transport and transfer of ultrasonic crystals [Modelirovanie passazhiropotokov v transportno-peresadochnykh uzlah]. Proceedings of the International scientific and practical conference «Problems and prospects of development of transport» [Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Problemy i perspektivy razvitiya transporta»]. The 2m., issue 2. Moscow, MIIT. – Pp. 95–102.
6. Semenov V. V. (2004). Mathematical modeling of the dynamics of traffic flow of megapolis [Matematicheskoe modelirovanie dinamiki transportnykh potokov megapolisa]. Publishing House of the Institute of Applied Mathematics. M. V. Keldysh [Izd-vo: Institut prikladnoy matematiki im. M.V. Keldysha]. – Pp. 12–24.
7. Inose H., Hamada T. (1983). Traffic Management [Upravlenie dorozhnym dvizheniem]. Moscow, Transport [Transport]. – Pp. 3–248.
8. Greenberg H. (1959). An analysis of traffic flows. Operations Research, vol. 7. – Pp. 79–85.
9. Shvetsov V. (2003). Mathematical modeling transport on-currents [Matematicheskoe modelirovanie transportnykh potokov]. Automation and Remote Control [Avtomatika i Telemekhanika], N 11. – Pp. 3–46.
10. Doenin V. V. (2009). Adaptation of transport processes [Adaptatsiya transportnykh processov]. Moscow, The company Sputnik+ [Kompaniya Sputnik+]. – 219 p.
11. 3 DSMax. URL: <http://www.autodesk.ru/products/3ds-max/overview>.
12. Doenin V. V. (2012). Modelling of transport processes and systems [Modelirovanie transportnykh processov i sistem]. Moscow, The company Sputnik+ [Kompaniya Sputnik+]. – 288 p.
13. 3dsMAX. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Autodesk_3ds_Max3.

14. Doenin V. V. (2009). Introduction to the abstract theory of transport processes and systems. Moscow, The company Sputnik+ [Kompaniya Sputnik+]. – 219 p.
15. Doenin V. V. (2011). Fundamentals of the abstract theory of transport processes and systems. Moscow, Company Sputnik+ [Kompanija Sputnik+]. – 348 p.
16. Doenin V. V. (2008). The logic of transport processes. Moscow, The company Sputnik+ [Kompaniya Sputnik+]. – 277 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии А. Б. Никитиным
Поступила в редакцию 28.11.2016, принята к публикации 24.01.2017*

Шарова Валерия Олеговна – студентка Института управления и информационных технологий (ИУИТ) Московского государственного университета путей сообщения Императора Николая II.
e-mail: valeria.floki@mail.ru

© Шарова В. О., 2017