

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОЙ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ ОПТИМИЗАЦИИ

DOI: 10.36724/2072-8735-2023-17-2-42-48

Кузьмин Дмитрий Владимирович,
Российский университет транспорта, Москва, Россия,
kuzminmiit@gmail.com

Багинова Вера Владимировна,
Российский университет транспорта, Москва, Россия,
vvbaginova@gmail.com

Краснобаев Дмитрий Алексеевич,
Российский университет транспорта, Москва, Россия,
mitek.kras@gmail.com

Мусатов Дмитрий Вадимович,
Российский университет транспорта, Москва, Россия,
musatov.rut@yandex.ru

Manuscript received 17 January 2022;
Accepted 11 February 2023

Ключевые слова: дискретно-событийное моделирование, имитационная модель, транспортная инфраструктура, оптимизационный эксперимент, AnyLogic

В статье описан вариант имитационной дискретно-событийной модели работы транспортно-логистической инфраструктуры на примере автодорожного перекрестка по адресу: Профсоюзная улица - улица Наметкина. Модель позволяет с высокой степенью детализации изучать процессы движения автотранспорта в границах рассматриваемого транспортного полигона: перекрестку с одноуровневым пересечением автомобильных дорог и примыкающими к нему автодорогами (далее - перекресток), делать аналитические выводы и формулировать на их основе корректные управленческие решения с целью улучшения дорожной ситуации. Разработанная имитационная модель состоит из элементов дорожной сети, функциональных блоков диаграммы процесса, элементов управления и инфографики и тд. С моделью проведен ряд простых экспериментов, в том числе оптимизационный, в результате которого определена наиболее предпочтительная продолжительность работы светофорных фаз, обеспечивающая минимум среднего времени проезда транспорта. Помимо этого, в модели реализованы наземные пешеходные переходы, позволяющие изучать поведение пешеходных масс при пересечении проезжей части. Предлагаемые решения в части организации движения транспорта и пешеходных потоков могут быть использованы для реализации имитационных моделей по широкому спектру вопросов моделирования транспортно-логистической инфраструктуры в том числе и на железнодорожном транспорте, например при разработке имитационных моделей транспортно-пересадочных узлов. Программное обеспечение, использованное в исследовании: среда моделирования AnyLogic 8 и объектно-ориентированный язык программирования Java. Проведенное исследование и подготовка публикации осуществлены в рамках реализации гранта ОАО "РЖД" на развитие научно-педагогических школ в области железнодорожного транспорта.

Информация об авторах:

Кузьмин Дмитрий Владимирович, к.т.н., доцент, Российский университет транспорта, Москва, Россия

Багинова Вера Владимировна, д.т.н., профессор, Российский университет транспорта, Москва, Россия

Краснобаев Дмитрий Алексеевич, Российский университет транспорта, Москва, Россия

Мусатов Дмитрий Вадимович, Российский университет транспорта, Москва, Россия

Для цитирования:

Кузьмин Д.В., Багинова В.В., Краснобаев Д.А., Мусатов Д.В. Разработка имитационной дискретно-событийной модели транспортной инфраструктуры с использованием инструментов оптимизации // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Том 17. №2. С. 42-48.

For citation:

Kuzmin D.V., Baginova V.V., Krasnobayev D.A., Musatov D.V. (2023) Development of a discrete-event simulation model of transport infrastructure using optimization tools. T-Comm, vol. 17, no. 2, pp. 42-48. (in Russian)

Введение

Основной транспортной проблемой мегаполисов является постоянное увеличение личных транспортных средств его жителей. Как правило, развитие дорожной инфраструктуры находится в положении «догоняющего» по отношению к постоянно растущему числу автомобилей. С проблемой автомобилизации впервые столкнулись в США в 1930-х годах. Уже тогда большое количество автомобилей на узких, не предназначенных для перемещения автомобилей, улицах создавали «пробки». В настоящее время в крупных городах остро стоит проблема управления автотранспортными потоками. Увеличение количества транспортных средств к перегруженности городских дорог, вызывает затруднение движения и рост числа дорожно-транспортных происшествий [1].

В связи с этим возникает вопрос функционирования объектов транспортной инфраструктуры, повышающих эффективность работы транспортного комплекса и обеспечивающих качественное движение транспортных средств. Эффективная работа объектов транспортной инфраструктуры зависит от множества факторов: времени года, погодных условий, интенсивности транспортного потока, характеристики транспортных средств и т.д. Для крупных городских агломераций по всему миру актуальным является вопрос эффективной организации работы транспортного обслуживания населения мегаполисов. [2] Обеспечение эффективного транспортного сообщения в современных мегаполисах требует применения комплекса мероприятий по организации дорожного движения. Одним из основных средств по решению транспортных проблем и обеспечению безопасности является светофорное регулирование на перекрестках, так как именно на дорожных развязках города чаще всего образуются заторы, и происходит около 30% всех дорожно-транспортных происшествий.

В работе [7] автор отмечает, что «Основной классической проблемой для моделирования дорожного движения на улично – дорожной сети города, является недостижимость предполагаемых результатов макромоделей вследствие отсутствия нужных данных, случайности выбора маршрута водителями, неопределённости дорожного движения в условиях насыщенности сети». Данное утверждение справедливо лишь отчасти, так как вариативность движения потока в значительной степени определяется топологией транспортной сети и размерами рассматриваемого полигона. При локальном моделировании работы транспортной инфраструктуры, для сбора исходных данных, численно конфигурирующих модель и определяющих поведение транспортного потока в большинстве случаев достаточно элементарного наблюдения.

Система управления транспортным потоком на перекрестке представляет собой целый комплекс сложных взаимосвязанных процессов. В этом случае целесообразно использовать имитационное моделирование, которое позволяет изучить и проанализировать все особенности организации движения транспорта на определенном участке дороги. [3]

Согласно п. 3.25 ГОСТ 33100 – 2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог» под перекрестком понимается пересечение автомобильных дорог на одном уровне, т.е. вид пересечения автомобильных дорог, в котором встречающиеся дороги и все специальные устройства для перевода с одной дороги на другую расположены на одном уровне.

Моделирование локальных технологических процессов работы транспортной инфраструктуры различных видов транспорта качественно реализуется инструментами дискретно-событийного подхода имитационного моделирования [4-6, 9, 10]. В некоторых случаях при моделировании транспортной инфраструктуры целесообразно использовать многоподходное имитационное моделирование [11,12].

Описание объекта

Условно границы рассматриваемого полигона, в рамках которого будет нанесена разметка пространства, определяются домами 3-11 по ул. Намёткина, и 49-59 по Профсоюзной улице. Пересечение улицы Намёткина с улицей Профсоюзной в районе Черемушки г. Москвы представляет собой крестообразный перекресток. На рисунке 1 представлен снимок перекрестка из картографического сервиса Яндекс Карты.



Рис. 1. Пересечение улицы Намёткина с улицей Профсоюзной

Улица Намёткина. Согласно ГОСТ Р 52398-2005 «Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования», улица Намёткина является дорогой обычного типа (не скоростная дорога) категории IV. Общее количество полос движения – более 4. Ширина полос – 3,75 м. На отдельных участках имеется центральная разделительная полоса. Разрешенная скорость движения по данной улице - 60 км/ч.

На дороге имеется большое количество пешеходных переходов, жилых домов и социальных учреждений, остановок общественного транспорта. Скорость движения транспортных средств по улице Намёткина напрямую связана с активным пешеходным трафиком.

Улица Намёткина обеспечивает транспортные связи на территории Обручевского района и района Черёмушки, а также сообщение с магистральными улицами общегородского значения с устройством пересечений в одном уровне.

Улица Профсоюзная. Согласно ГОСТ Р 52398-2005 «Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования», является дорогой обычного типа (не скоростная дорога) категории IV. Общее количество полос движения – более 4. Ширина полос – 3,75 м. Имеется центральная разделительная полоса. Протяженность улицы – 9,3 км. Разрешенная скорость, преимущественно 60-80 км/ч.

Профсоюзная улица является одной из главных дорог юго-запада Москвы. Основная функция – обеспечение транспортной связи между районами Академический, Коньково, Обручевский, Тёплый Стан, Черёмушки, Ясенево. За МКАД продолжается как федеральная трасса А130 (Калужское шоссе) на Троицк, Обнинск, Рославль.

На Профсоюзной улице расположено большое количество деловых, торговых и культурных локаций, обеспечивающих ежедневное притяжение автотранспортных потоков: Институт научной информации по общественным наукам, Институт мировой экономики и международных отношений РАН, Институт космических исследований РАН, Палеонтологический музей имени Ю. А. Орлова, депо Калужско-Рижской линии метрополитена и др.

Профсоюзная улица обеспечивает сообщение крупных жилых районов с улицами общегородского значения, с устройством пересечений с другими улицами на одном уровне со светофорным регулированием.

Анализ текущей работы объекта

Для изучения работы перекрестка были проведены полевые исследования. Дата: 3 декабря 2022 г. Время: 15:00. В ходе полевого исследования оценивалась общая ситуация на перекрестке, измерялась интенсивность движения. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Актуальная характеристика работы объекта

| Направление | Интенс. движения, авт./ч | Фазы светофора | Маршрут движения |
|---------------------------------------|--------------------------|--|---|
| С запада на восток Улица Намёткина | 1500 | «Зеленая фаза» в основном направлении – пятая (25 сек) | 20% – Профсоюзная ул. на Север 40% – ул. Намёткина на Восток 40% – Профсоюзная ул. на Юг |
| С востока на запад Улица Намёткина | 1800 | «Зеленая фаза» в основном направлении – четвертая (25 сек) | 25% – Профсоюзная ул. на Юг 50% – Профсоюзная ул. на Север 25% – ул. Намёткина на Запад |
| С севера на юг Профсоюзная улица | 1800 | «Зеленые фазы» в основном направлении – первая, вторая и шестая (25 сек, 40 сек. и 35 сек) | 35% – ул. Намёткина на Восток 40% – ул. Намёткина на Запад 25% – Профсоюзная ул. на Юг |
| С юга на север Профсоюзная улица | 2400 | «Зеленая фаза» в основном направлении – шестая (35 сек) | 35% – ул. Намёткина на Восток 35% – Профсоюзная ул. на Север 30% – ул. Намёткина на Запад |

В среднем на перекрестке находится 90-110 автомобилей, а время проезда составляет 170-185 секунд. За работой перекрестка можно следить удаленно с помощью различных

онлайн-картографических сервисов (Яндекс Карты, Google Карты и т.д.). Проведенный мониторинг позволяет сделать вывод, что дорожная обстановка на перекрестке зависит от многих факторов, среди которых наиболее значимыми являются: время суток, день недели, время года, погодные условия и наличие дорожно-транспортных происшествий.

При этом количество автомобилей и среднее время в пути на перекрестке могут отличаться в десятки раз. Наиболее контрастным является сравнение трафика в ночное время (0-1 баллов по данным картографического сервиса Яндекс Карты, <400 машин/час) и в вечернее время в будни 7-9 баллов (> 6000 машин/час).

Также необходимо учитывать комплексные характеристики объекта: конфликтность потоков автотранспорта, длительность фаз светофора, наличие пешеходных переходов и др. Вышеперечисленные факторы повышают риски ДТП, что приводит к различным негативным последствиям, вплоть до полной остановки движения.

Дискретно-событийная модель перекрестка

Для анализа работы перекрестка в среде Anylogic была разработана программно-имитационная дискретно-событийная модель. Диаграмма процесса и планировка перекрестка показаны на рисунках 2 и 3.

Модель представляет собой последовательную совокупность функциональных блоков дорожной и пешеходной библиотек AnyLogic, имитирующих различные события, происходящие с агентами (автомобилями и пешеходами). К таким событиям относятся: появление автомобилей в модели (блок *CarSource*), маршрутизация (*selectOutput*, *carMoveTo*) и удаление агентов из модели (блок *carDispose*).



Рис. 2. Интерфейс среды разработки и имитационной в среде AnyLogic

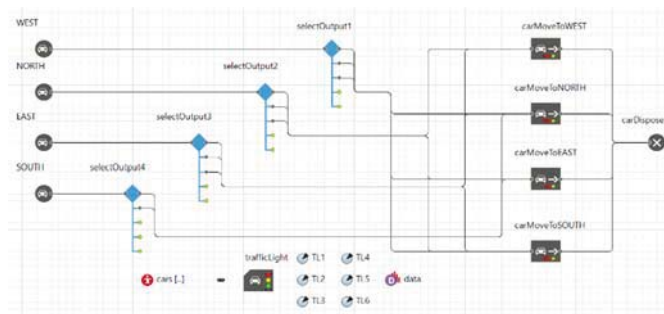


Рис. 3. Диаграмма процесса

В рамках имитационной модели воспроизводится движение транспортных потоков с каждого направления, а взаимодействие этих потоков определяет общее поведение системы.

Таким образом, структура имитационной модели представляет собой совокупность нескольких микромоделей, моделирующих движение автомобилей (агентов) с разных сторон. Подробное описание блоков модели представлено в таблице 2.

Таблица 2

Описание элементов модели

| Название блока | Функции | Характеристика |
|---|--|--|
| WEST/ NORTH/ EAST/ SOUTH | Формирование потока агентов по каждому направлению | Появление агентов по заданной интенсивности |
| selectOutput 1-4 | Ветвление потоков агентов в разные направления | Маршрут определяется заданной вероятностью |
| carMove ToW- EST/NORT H/ EAST /SOUTH | Блок маршрутизации потока | Цель движения: конец полосы движения |
| carDispose | Удаление агентов из модели | |
| cars | Популяция агентов | При удалении агентов обращается к корневому классу основной модели и сообщает элементу data разницу между временем текущей модели и временем появления агента <code>main.data.add(time () - timeCar);</code> |
| data | Данные гистограммы. Выполняет статистический анализ значений | Анализируемое выражение <code>(time () - timeCar)</code> |
| timeCar | Параметр. Хранилище данных | Фиксирует время появления агента в модели. Тип хранимых данных – double. Используемая функция – <code>time()</code> |
| trafficLight | Светофор. Регулирует движение на перекрестке | Время работы секций определяется параметрами TL1-6 |
| TL1-6 | Параметр. Хранилище данных | Содержит значения времени работы фаз светофора. Начальное значение: TL1 – 25 сек, TL2 – 40 сек, TL3 – 20 сек, TL4 – 25 сек, TL5 - 25 сек, TL6 – 35 сек Тип хранимых данных – double |
| Оптимизация | Оптимизационный эксперимент | Целевая функция – минимальное среднее время проезда автомобилей через перекресток. Выражение целевой функции – <code>root.data.mean()</code> |

В интерфейсе модели предусмотрена возможность отслеживания количества автомобилей на перекрестке в конкретный период времени, среднее время проезда, а также график, отображающий количество автомобилей на перекрестке в каждую единицу модельного времени.

Счетчик фактического количества агентов на перекрестке реализован с помощью текстового элемента, отображающего динамическое значение выражения:

`WEST.count()+NORTH.count()+EAST.count()+SOUTH.count()-carDispose.count()`

График использует функцию `time()` как значение по оси X и выражение по Y:

`WEST.count()+NORTH.count()+EAST.count()+SOUTH.count()-carDispose.count()`

Визуализация среднего времени проезда реализована с помощью текстового элемента, отображающего динамическое значение `data.mean()`. Модельное время конкретного агента представляет собой разность времени удаления из модели и времени появления агента в границах рассматриваемого полигона. Среднее время определяется, как среднее время проезда по популяции агентов.

Так как дороги, примыкающие к данному перекрестку, имеют большое количество наземных пешеходных переходов в модели так же реализован пешеходный переход. Архитектура дискретно-событийной пешеходной модели представлена на рисунке 4.

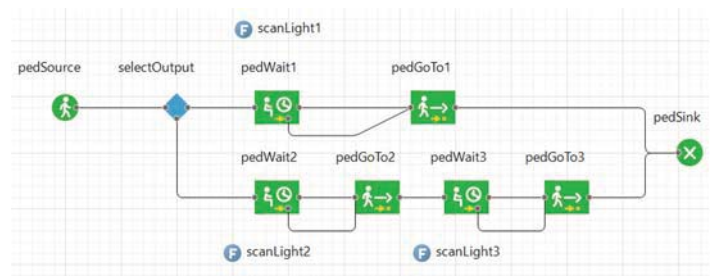


Рис. 4. Архитектура дискретно-событийной пешеходной модели

Подробное описание блоков пешеходной модели представлено в таблице 3.

Таблица 3

Описание элементов пешеходной модели

| Название блока | Функции | Характеристика |
|----------------|--|--|
| pedSource | Формирование потока пешеходов | Появление пешеходов по заданной интенсивности |
| selectOutput | Ветвление потоков пешеходов в разные направления | Маршрут определяется заданной вероятностью |
| pedWait1-3 | Заставляет пешеходов ожидать разрешающий сигнал движения пешеходов | Ожидание заканчивается по вызову функции <code>free()</code> |
| pedGoTo1-3 | Блок маршрутизации потока | Цель движения: конец направления пешеходного потока |
| scanLight1-3 | Разрешает движение пешеходов при включении разрешающей фазы | Использует функцию <code>trafficLight.getCurrentPhaseIndex</code> для определения фазы светофора |
| pedSink | Удаление пешеходов из модели | |

В секции светофора предусмотрена фаза, соответствующая разрешающему сигналу движения пешеходов. Данная секция не учитывается при проведении оптимизационного эксперимента.

Для визуализации разрешающей фазы для пешехода в интерфейсе модели реализован условный светофор. Вид светофора представлен на рисунке 5.

Код запрещающей фазы пешеходного светофора:

```
trafficLight.getCurrentPhaseIndex()==1||trafficLight.getCurrentPhaseIndex()==0||trafficLight.getCurrentPhaseIndex()==2||trafficLight.getCurrentPhaseIndex()==3||trafficLight.getCurrentPhaseIndex()==4 ? red:darkRed
```

Код разрешающей фазы пешеходного светофора:

```
trafficLight.getCurrentPhaseIndex()==5 ? lightGreen:darkGreen
```

Красный сигнал

Зеленый сигнал

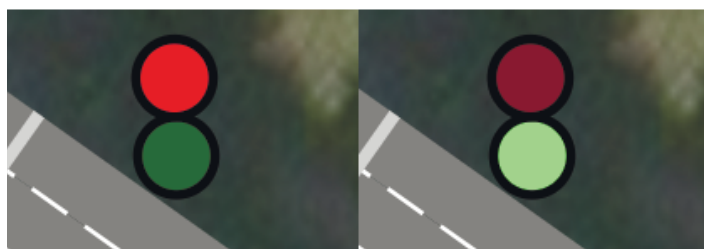


Рис. 5. Условный светофор для пешеходов

Движение пешехода инициируется соответствующим сигналом светофора, для этого в модели реализована функция scanLight(), сканирующая индекс светофорной фазы. При обращении к функции в момент активности соответствующей разрешающей фазы, популяция пешеходов, удерживаемая функциональным блоком pedWait1, отпускается методом cancelAll(). Код функции приведен ниже:

```
if(trafficLight.getCurrentPhaseIndex()==5)
pedWait1.cancelAll();
```

Если фаза разрешает движение пешеходов, они отправляются из блока pedWait1 в блок pedGoTo1 и начинают движение по переходу.

Проведение эксперимента и оптимизация работы светофора

Для улучшения работы перекрестка, с моделью был проведен оптимизационный эксперимент. AnyLogic имеет встроенный оптимизатор, который определяет оптимальные значения параметров модели с учетом заданных ограничений. Оптимизация состоит из нескольких последовательных прогонов модели с разными значениями параметров. Оптимизатор позволяет находить значения параметров модели, соответствующие максимуму или минимуму целевой функции, как в условиях неопределенности, так и при наличии ограничений.

В модели значения времени фаз светофора, разрешающих движение транспортных средств, хранятся дискретными параметрами TL1, TL2, TL3, TL4, TL5, TL6 изменение которых допустимо в диапазоне от 15 до 75 ед. с шагом 1. При проведении оптимизационного эксперимента осуществляется варьирование значениями параметров фаз светофора, регулирующих автомобильное движение, а пешеходные фазы остаются неизменными.

Профсоюзная/Намёткина : Optimization

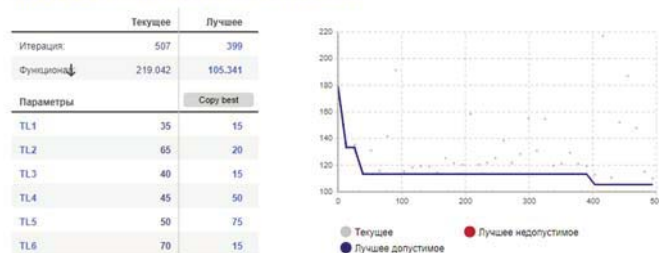


Рис. 6. Интерфейс окна с результатами оптимизационного эксперимента

В качестве целевой функции оптимизации используется минимальное среднее время проезда транспортных средств на перекрестке. Эта характеристика хранится в блоке data, который собирает данные для построения соответствующей гистограммы.

Условия эксперимента по оптимизации приведены в таблице 4.

Таблица 4

Условия оптимизационного эксперимента

| Параметр | Тип | Значения, сек. | | | |
|----------|------------|----------------|------|-----|-------------|
| | | мин | макс | Шаг | Фактическое |
| TL1 | дискретный | 15 | 75 | 5 | 25 |
| TL2 | дискретный | 15 | 75 | 5 | 40 |
| TL3 | дискретный | 15 | 75 | 5 | 20 |
| TL4 | дискретный | 15 | 75 | 5 | 25 |
| TL5 | дискретный | 15 | 75 | 5 | 25 |
| TL6 | дискретный | 15 | 75 | 5 | 35 |

Продолжительность эксперимента составляет 1 час модельного времени. В ходе эксперимента оптимизатор провел 500 итераций, по результатам которых была выбрана итерация с сочетанием параметров TL1-6 обеспечивающим минимальное значение целевой функции (минимальное среднее значение время в пути для автомобилей на перекрестке). Результаты проведения эксперимента представлены на рисунке 6.

По результатам исследования минимальное среднее время проезда автомобилей по перекрестку составляет 105 секунд. Это достигается при следующих значениях параметров (времени работы фаз светофора): TL1 = 15 сек, TL2 = 20 сек, TL3 = 15 сек, TL4 = 50 сек, TL5 = 75 сек, TL6 = 15 сек.

Выводы

Полученные результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие выводы:

- минимальное среднее время проезда автомобилей по перекрестку составляет 105 секунд. Это достигается при следующих значениях параметров (время работы фаз светофора): TL1 = 15 сек, TL2 = 20 сек, TL3 = 15 сек, TL4 = 50 сек, TL5 = 75 сек, TL6 = 15 сек;
- на данный момент работа светофора обеспечивает низкую эффективность проезда транспортных средств.

Корректировка времени работы фаз значительно сократит время проезда автомобилей по перекрестку.

Предлагаемые решения в части организации движения транспорта и пешеходных потоков могут быть использованы для реализации имитационных моделей по широкому спектру вопросов моделирования транспортно-логистической инфраструктуры в том числе и на железнодорожном транспорте, например при разработке имитационных моделей транспортно-пересадочных узлов.

Проведенное исследование и подготовка публикации осуществлены в рамках реализации гранта ОАО «РЖД» на развитие научно-педагогических школ в области железнодорожного транспорта.

Литература

1. Кузьмин Д.В., Багинова В.В. Проблемы транспортной системы Москвы, вызванные автомобилизацией: их причины и пути решения // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2012. Т. 2. № 1. С. 79-82. EDN PBGCVT.
2. Кузьмин Д.В., Багинова В.В. Дискретно-событийная имитационная модель работы перекрестка // Академик Владимир Николаевич Образцов - основоположник транспортной науки : труды международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию университета, Москва, 22 октября 2021 года. М.: Российский университет транспорта, 2021. С. 487-497. DOI 10.47581/2022/Obrazcov.65. EDN TJOCUB.
3. Kuzmin D., Baginova V. Discrete-Event Intersection Operation Model (Yasnuy Proyezd-Dezhnev street, Moscow) // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2022. Vol. 247. P. 283-294. DOI 10.1007/978-981-16-3844-2_29. EDN FCGFPY.
4. Mishkurov P.N., Rakhmangulov A.N., Kornilov S.N., Aleksandrin D.V. Rail yard digital twin implementation into an industrial information system // AIP Conference Proceedings : 16, Nizhny Tagil, 17-19 июня 2021 года. Nizhny Tagil, 2022. P. 030026. DOI 10.1063/5.0074662. EDN AYQKRN.
5. Рахмангулов А.Н., Мишкuroв П.Н., Александрин Д.В. Имитационные модели в цифровых двойниках железнодорожных станций // Академик Владимир Николаевич Образцов – основоположник транспортной науки: труды международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию университета, Москва, 22 октября 2021 года. М.: Российский университет транспорта, 2021. С. 574-582. DOI 10.47581/2022/Obrazcov.76. EDN JSJBDL.
6. Рахмангулов А.Н., Корнилов С.Н., Мишкuroв П.Н., Александрин Д.В. Имитационные модели в цифровых двойниках железнодорожных узлов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2022. № 3(55). С. 43-59. DOI 10.20291/2079-0392-2022-3-43-59. EDN HHJEEV.
7. Цзянг Х. Моделирование передвижения транспортных средств на основе макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16. № 2. С. 22-28. DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-2-22-28. EDN HXVITR.
8. Мосева М.С. О методах сбора и анализа основных характеристик транспортного потока // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16. № 2. С. 29-38. DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-2-29-38. EDN MXTXOL.
9. Супруновский А.В., Большаков Р.С. К вопросу о построении имитационных моделей перевозочных процессов в программной среде ANYLOGIC // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16. № 3. С. 31-35. DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-3-31-35. EDN KPVPLX.
10. Kuzmin D., Baginova V., Ageikin A. Discrete event simulation model of the railway station // X International Scientific Siberian Transport Forum – TransSiberia 2022, Novosibirsk, 02-05 марта 2022 года. Novosibirsk: Elsevier B.V., 2022. P. 929-937. DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.091. EDN FAGWFG.
11. Хашев А.И., Мамаев Э.А., Гуда А.Н. Комбинированное имитационноаналитическое моделирование в транспортно-логистических системах // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2022. № 1(85). С. 117-125. DOI 10.46973/0201-727X_2022_1_117. EDN GDFSFS.
12. Гуда А.Н., Мамаев Э.А. Мультиагентность и цифровые технологии в транспортно-логистических системах // Транспорт и логистика: актуальные проблемы стратегического развития и оперативного управления: VI международная научно-практическая конференция, Ростов-на-Дону, 04-05 февраля 2022 года. Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2022. С. 41-44. EDN HROQRP.
13. Вебинар: моделирование дорожного движения в AnyLogic 7.3 // youtube URL: <https://www.youtube.com/watch?v=si-KCX1GyY0> (дата обращения: 26.12.22).

DEVELOPMENT OF A DISCRETE-EVENT SIMULATION MODEL OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE USING OPTIMIZATION TOOLS

Dmitry V. Kuzmin, Russian University of transport, Moscow, Russia, kuzminmiit@gmail.com
Vera V. Baginova, Russian University of transport, Moscow, Russia, vbaginova@gmail.com
Dmitry A. Krasnobaev, Russian University of transport, Moscow, Russia, mitek.kras@gmail.com
Dmitry V. Musatov, Russian University of transport, Moscow, Russia, musatov.rut@yandex.ru

Abstract

The paper describes a discrete-event simulation model of transport and logistics infrastructure on the example of a road intersection at Profsoyuznaya Street, 64 k.2 / Nametkina Street, 6. The model allows the studying of traffic processes at the intersection with a high degree of accuracy, drawing analytical conclusions and making correct management decisions to improve the traffic situation on the basis of these conclusions. The developed simulation model consists of road network elements, agent generation system, process diagram functional blocks, control elements and infographics, etc. A number of simple experiments were performed with the model, including optimization, as a result of which the most optimal duration of the traffic light phases was determined, which ensures the minimum average travel time of vehicles. In addition, the model includes ground crossings that allow the study of the behavior of pedestrian masses when crossing the carriageway. The proposed solutions to the organization of traffic and pedestrian flows can be used to implement simulation models for a wide range of issues of modeling transport and logistics infrastructure, including railway transport, for example, when developing simulation models of transport interchange nodes. Software that was used in the study: the simulation environment AnyLogic 8 and the object-oriented programming language Java. The conducted research and preparation of the publication were carried out as part of the implementation of a grant from Russian Railways for the development of scientific and pedagogical schools in the field of railway transport.

Keywords: discrete-event simulation, simulation model, transport infrastructure, optimization experiment, AnyLogic.

References

1. D. V. Kuzmin, V. V. Baginova (2012) Problems of the Moscow transport system caused by motorization: their causes and solutions. *Modern problems of the transport complex of Russia*. Vol. 2. No. 1, pp. 79-82.
2. D. V. Kuzmin, V. V. Baginova (2021) Discrete-Event Simulation Model of Intersection Operation. *Academician Vladimir Nikolayevich Obratsov - the founder of transport science: Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 125th anniversary of the university*, Moscow, October 22, 2021. Moscow: Russian University of Transport, pp. 487-497. DOI 10.47581/2022/Obratsov.65.
3. D. Kuzmin, V. Baginova (2022) Discrete-Event Intersection Operation Model (Yasnyy Proyezd-Dezhnev street, Moscow). *Smart Innovation, Systems and Technologies*. Vol. 247, pp. 283-294. DOI 10.1007/978-981-16-3844-2_29.
4. P. N. Mishkurov, A. N. Rakhmangulov, S. N. Kornilov, D. V. Aleksandrin (2022) Rail yard digital twin implementation into an industrial information system. *AIP Conference Proceedings* : 16, Nizhny Tagil, June 17-19, 2021. Nizhny Tagil, 2022. P. 030026. DOI 10.1063/5.0074662.
5. A. N. Rakhmangulov, P. N. Mishkurov, D. V. Aleksandrin (2021) Simulation models in digital twins of railway stations. *Academician Vladimir Nikolayevich Obratsov - the founder of transport science: Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 125th anniversary of the university*, Moscow, October 22, 2021. Moscow: Russian University of Transport, pp. 574-582. DOI 10.47581/2022/Obratsov.76.
6. A. N. Rakhmangulov, S. N. Kornilov, P. N. Mishkurov, D. V. Aleksandrin (2022) Simulation models in digital twins of railway junctions. *Herald of the Ural State University of Railway Transport*. No. 3(55), pp. 43-59. DOI 10.20291/2079-0392-2022-3-43-59.
7. H. Jiang (2022) Modeling the movement of vehicles based on a macroscopic fundamental diagram of the traffic flow. *T-Comm*. Vol. 16. No. 2, pp. 22-28. DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-2-22-28.
8. M. S. Moseva (2022) About methods for collecting and analyzing traffic flow characteristics. *T-Comm*. Vol. 16. No. 2, pp. 29-38. DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-2-29-38.
9. A. V. Suprunovkij, R. S. Bolshakov (2022) On the issue of building simulation models transportation processes in the Anylogic software environment. *T-Comm*. Vol. 16. No. 3, pp. 31-35. DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-3-31-35.
10. D. Kuzmin, V. Baginova, A. Ageikin (2022) Discrete event simulation model of the railway station. *X International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2022*, Novosibirsk, 02-05 March 2022. Novosibirsk: Elsevier B.V., pp. 929-937. DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.091.
11. A. I. Khashev, E. A. Mamaev, A. N. Guda (2022) The combined simulation and analytical modeling in transport and logistics systems. *Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya*. No. 1(85), pp. 117-125. DOI 10.46973/0201-727X_2022_1_117.
12. A. N. Guda, E. A. Mamaev (2022) Multi-agency and digital technologies in transport and logistics systems. *Transport and logistics: current issues of strategic development and operational management: VI International Scientific and Practical Conference*, Rostov-on-Don, February 04-05, 2022. Rostov-on-Don: Rostov State Transport University, pp. 41-44.
13. Webinar: Traffic Simulation in AnyLogic 7.3 // youtube URL: <https://www.youtube.com/watch?v=si-KCXIGyY0> (access date: 26.12.22).

Information about authors:

Dmitry V. Kuzmin, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Russian University of transport, Moscow, Russia
Vera V. Baginova, Doctor of Engineering, Russian University of transport, Moscow, Russia
Dmitry A. Krasnobaev, Russian University of transport, Moscow, Russia
Dmitry V. Musatov, Russian University of transport, Moscow, Russia