

УДК 553.98:551.763:550.836
DOI: 10.18799/29495407/2023/2/16

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОБЛЕМНОГО ПЕРЕКРЕСТКА В СРЕДЕ ANYLOGIC

Ли Артемий Витальевич,
79131048719@yandex.ru

Репкин Владимир Сергеевич,
repkin_vova@mail.ru

Семенов Григорий Юрьевич,
semenov.g.749-1@e.tusur.ru

Сермавкин Никита Игоревич,
iis.vseverske@mail.ru

Фаерман Владимир Андреевич,
fva@fb.tusur.ru

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40.

Актуальность исследования обусловлена развитием микрорайонов на северо-востоке города Томска, что увеличивает нагрузку на перекресток, образованный улицами Ключева, Энтузиастов и Осенней, также данный участок дорожной сети является связующим звеном северо-восточной части города с центральными районами, помимо этого, проезд к единственному дорожно-транспортному мосту лежит через рассматриваемый перекресток. **Цель:** применение имитационного моделирования в среде AnyLogic для оценки эффективности решений по оптимизации участка дорожной сети на северо-востоке города Томска. **Объектом** исследования является участок дорожной сети города Томска, расположенный на пересечении улиц Ключева, Осенней и Энтузиастов в микрорайоне Зеленые горки. **Методы:** имитационное моделирование в среде AnyLogic 8.8.3 Professional (модуль Road Traffic Library), прямые измерения интенсивности автомобильного и пешеходного трафика по месту. **Результаты.** Реализована, валидирована и предоставлена в публичный доступ имитационная модель участка дорожной сети; с использованием модели проверены два потенциальных решения по оптимизации данного проблемного участка.

Ключевые слова: автомобильный трафик, имитационное моделирование, AnyLogic, Road Traffic Library, Томск.

Введение

Транспортное планирование дорожной сети призвано обеспечивать в городе необходимую пропускную способность, то есть фактически максимизировать возможное число автомобилей, которые могут проехать по улице в единицу времени при соблюдении скоростного режима и иных мер безопасности дорожного движения. Планирование осуществляется посредством проектирования городских улиц и утверждения в их отношении технических нормативов. Поскольку современные крупные города представляют собой сложные социально-экономические системы, развитие которых подвержено собственной логике и часто не поддается планированию, неизбежно проявляются проблемные участки дорожной сети, отличающиеся низкой скоростью движения или повышенной аварийностью.

Одним из способов оптимизации дорожной сети как на этапе проектирования, так и на этапе внесения изменений в действующие участки, является имитационное моделирование. Последнее основано на положениях теории массового обслуживания, а также на использовании метода Монте-Карло для исследования сложных систем, аналитическое описание которых затруднительно.

Компьютерное моделирование транспортной сети имеет важное значение для оптимизации транспортных потоков и планирования инфраструктуры. Оно позволяет определить наиболее эффективные маршруты и пути для

перевозки грузов и пассажиров, а также оценить уровень достаточности существующей транспортной системы в контексте ожидаемых или возможных изменений в городской среде. Методы моделирования также находят широкое применение для оптимизации механизмов координации между различными видами участников дорожного движения, в частности автомобилями, общественным транспортом и пешеходами.

В данной работе представлено применение технологии имитационного моделирования для оценки обсуждаемых мероприятий по улучшению пропускной способности перекрестка на улице Энтузиастов в Северо-Восточной части города Томска. В основу модели положены измерения интенсивности движения общественного транспорта, пешеходов, легковых и грузовых автомобилей через рассматриваемый участок дорожной сети. Валидация модели производилась путём сопоставления данных, полученных в ходе полевых замеров, и пропускной способности компьютерной модели. Модель с визуальной оболочкой доступна в открытом репозитории для проектов AnyLogic.

Средства компьютерного моделирования дорожных сетей

В настоящее время существует множество средств для моделирования транспортных сетей, оценки и визуализации дорожного трафика. Широкое применение, в частности, находят Google Maps API, Mapbox, ESRI ArcGIS, QGIS, PTV Visum и др. [1–5].

Выбор средства зависит от требований к точности описания моделируемого объекта и решаемых в рамках компьютерного эксперимента задач. В контексте обозначенной выше задачи нами была выбрана среда имитационного мультиагентного моделирования AnyLogic. Выбор был обусловлен наличием специализированной библиотеки Road Traffic Library, достаточным количеством информационных документов и развитыми возможностями визуализации модели.

В библиотеке Road Traffic Library среды AnyLogic представлен набор компонентов, специально ориентированных на моделирование транспортных потоков. В частности, доступны конфигурируемые компоненты для инъекции в модель агентов и формирования таким образом потоков различных участников дорожного движения: частных (легковых) автомобилей, коммерческих (грузо-

вых) автомобилей, автомобильного общественного транспорта, пешеходов. Кроме этого, имеются компоненты для мониторинга и регистрации результатов моделирования, таких как средняя скорость агентов на участке дороги, степень загруженности дорог и ряд других [6].

Описание объекта моделирования

В качестве объекта моделирования был взят проблемный перекресток (рис. 1, а) в Октябрьском районе города Томска (микрорайон «Зелёные горки»), образованный пересечением улиц Энтузиастов (А), Ключева (Б) и Осенней (В). Направления основных автомобильных потоков и расположение узловых элементов дорожной инфраструктуры представлено на рис. 1, а.

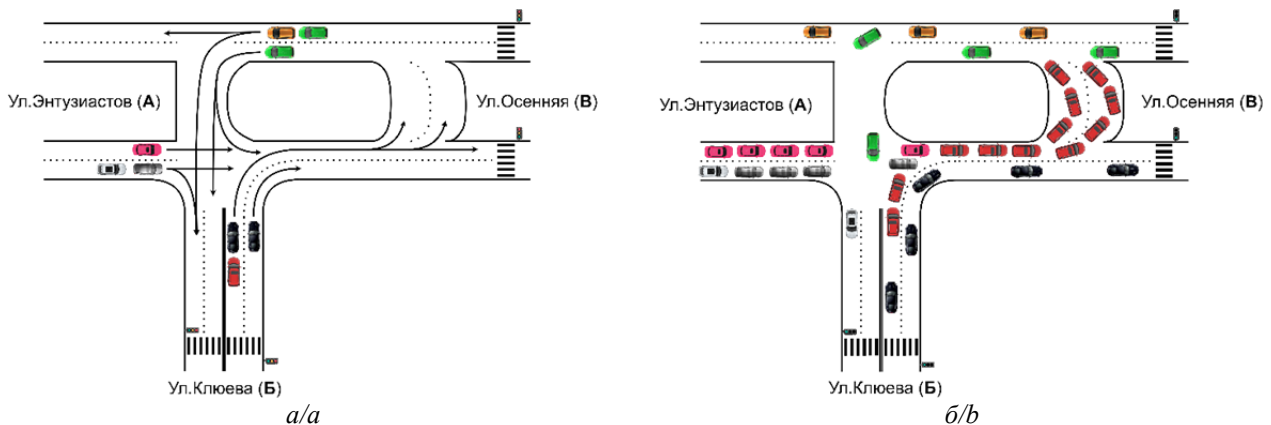


Рис. 1. Графическое представление моделируемого перекрёстка: а) схемы движения транспортных средств и направления автомобильных потоков; б) характерная для перекрёстка проблемная ситуация

Fig. 1. Graphical representation of the simulated intersection: а) traffic patterns of vehicles and direction of car flows; б) problematic situation characteristic for intersection

Регулярно воспроизводящаяся в часы пик проблемная ситуация на перекрёстке характеризуется накоплением очереди из автомобилей, движущихся с улицы Ключева на улицу Энтузиастов, в связи с чем движение в стонону улицы Осенней остается возможным только в рамках од-

ной дорожной полосы. Описанная ситуация представлена на рис. 1, б. Красные транспортные средства не имеют возможности продолжить движение по перекрестку, вследствие чего розовые и серые автомобили также испытывают значительные задержки в движении.



Рис. 2. Модель чёрного ящика перекрёстка как объекта моделирования

Fig. 2. Model of a black box of an intersection as an object of modeling

Постановка задачи моделирования

Для формализации задачи построения модели и проведения соответствующего компьютерного исследования был произведён системный анализ проблемы. Формализованное представление проблемы в виде чёрного ящика в нотации IDEF0 представлено на рис. 2.

На входе чёрного ящика представлены следующие параметры: интенсивность поступления агентов, пропускная способность перекрёстка, узлы дорожно-транспортной сети. Интенсивность поступления агентов является отражением в рамках модели наблюдаемых интенсивностей автомобильных и пешеходных потоков в каждом из допустимых направлений. Пропускная способность перекрёстка в свою очередь характеризуется средними скоростями движения в его пределах, свойственных для тех или иных агентов. Измерения этих параметров производились непосредственно в полевых условиях в течение рабочей недели в период вечернего часа пик.

Геометрические параметры перекрёстка, такие как ширина проезжей части, а также взаимное расположение узлов дорожно-транспортной сети, были воспроизведены

в модели на основании спутникового снимка, доступного в сервисе «Яндекс Карты».

Для удобства интерпретации результатов моделирования и популяризации проблемы совершенствования дорожно-транспортной сети города Томска для модели была создана графическая оболочка, основанная на спутниковом изображении объекта.

Построение компьютерной модели

Описание модели в среде AnyLogic составляется её логической структурой и визуальной частью. Логическая структура модели содержит, прежде всего, алгоритмические описания действий агентов и модули, отвечающие за задание и изменение параметров модели. В числе регулируемых параметров, помимо обсуждаемых выше, например, габаритные размеры агентов, их ускорение и торможение [7–9].

Визуальная часть модели представлена на рис. 3 и включает в себя спутниковый снимок объекта, нанесённую на него автодорожную сеть, контуры, обозначающие географические границы пешеходных зон, а также графические отображения агентов.



Рис. 3. Визуальная часть модели на основе импортированного спутникового изображения

Fig. 3. Visual part of the model based on the imported satellite image

Полевое исследование перекрёстка и оценка параметров модели

Как отмечалось ранее, определение параметров модели производилось путём полевых наблюдений в период с 13 по 17 марта в вечерний час пик (с 17:30 до 19:00). В рамках наблюдений были зафиксированы фазы работы светофоров, определены интенсивности автотранспортных потоков (а также их количественный состав) в различных направлениях, оценены среднее время преодоления пересечения проезжих частей автомобилем в разрешающую фазу светофора и пропускная способность перекрёстка, определено влияние пешеходов (в особенности, пассажиров пребывающего транспорта) на дорожную ситуацию в

целом. Для уточнения графика движения общественного транспорта и корректировки оценок пассажиропотока использовались данные сервиса «2ГИС».

Регистрация транспортных средств сопровождалась видеофиксацией и производилась в районе светофоров на пересечении улиц Ключева и Осенней, Энтузиастов и Ключева. Выбор местоположения наблюдательных точек обусловлен тем обстоятельством, что светофоры позволяют более удобно вести подсчёты транспортных средств и при этом являются фактическими границами моделируемого перекрёстка [10].

Данные, на основании которых осуществлялась оценка интенсивности автомобильных потоков, представлены в табл. 1. Далее в рамках моделирования учитывались только

основные автомобильные потоки через перекрёсток, при этом не учитывались автомобили, движущиеся в сторону прилегающих парковок и выезжающие с них, а также транспортные средства, выполняющие разворот. Аналогичным образом учитывались интенсивности и характер потоков других агентов, в частности пешеходов и пассажирского автотранспорта.

Несмотря на то, что пешеходы не оказывают непосредственного влияния на дорожную ситуацию, в рамках

решения оптимизационной задачи необходимо учитывать их присутствие в целевой функции. Наблюдения показали, что, поскольку данный участок дорожной сети прилегает к «спальному» микрорайону города, а также не является пешеходным, в существенной степени интенсивность потока пешеходов связана с прибытием автобусов на близлежащую остановку. Перечисленные факторы нашли отражение в модели [11].

Таблица 1. Результаты полевых измерений интенсивности потоков автомобилей

Table 1. Results of field measurements of the intensity of car flows

Направление потока Flow direction	Число легковых/грузовых автомобилей, ед/ч Number of cars/trucks, units/hour				
	13.03.23	14.03.23	15.03.23	16.03.23	17.03.23
ул. Ключева–ул. Осенняя (БВ) Klyuev street–Osennyya street	197/52	202/53	210/56	180/40	111/47
ул. Осенняя–ул. Ключева (ББ) Osennyya street–Klyuev street	200/100	212/113	214/99	195/98	179/90
ул. Энтузиастов–ул. Осенняя (АВ) Entuziastov street–Osennyya street	200/50	211/56	189/46	195/55	205/43
ул. Осенняя–ул. Энтузиастов (БА) Osennyya street–Entuziastov street	334/90	341/101	360/105	351/100	364/104
ул. Энтузиастов–ул. Ключева (АБ) Entuziastov street–Klyuev street	40/30	34/29	41/28	42/32	37/29
ул. Ключева–ул. Энтузиастов (БА) Klyuev street–Entuziastov street	101/54	99/40	95/53	105/60	100/43

*направления потоков автомобилей обозначены в соответствии со схемой на рис. 1/traffic directions are indicated according to the scheme in Fig. 1.

Валидация модели

Для проверки адекватности модели был проведён простой эксперимент, состоящий в сопоставлении среднего времени пребывания транспортного средства в пределах перекрёстка. Полученные с помощью компьютерной модели результаты сопоставлялись с результатами полевых наблюдений. Сопоставляемые оценки времени представлены в табл. 2.

Таблица 2. Время пребывания транспортного средства на перекрёстке

Table 2. Time spent by the vehicle at the intersection

Направление потока Flow direction	Полевые наблюдения, с Field observations, s	Компьютерный эксперимент, с Computer experiment, s	Относительная разница, % Relative difference, %
ул. Ключева–ул. Осенняя (БВ) Klyuev street–Osennyya street	15,4	15,9	3,3
ул. Осенняя–ул. Ключева (ББ) Osennyya street–Klyuev street	22	21,4	2,6
ул. Энтузиастов–ул. Осенняя (АВ) Entuziastov street–Osennyya street	16,7	17,0	1,9

На рис. 4 представлена карта с цветовым кодом, отражающая среднюю скорость движения потока. Красные участки соответствуют крайне низкой скорости движения потока, в то время как зелёные – беспрепятственному перемещению транспортных средств. Отражённая на карте ситуация соответствует дорожному затору, возникающему на перекрёстке в часы пик.

Опираясь на результаты сопоставления временных показателей в табл. 2 и динамику развития дорожной ситуации в час пик, отражённую на рис. 4, можно сделать вывод о том, что модель описывает объект с достаточной для оценки корректирующих мероприятий точностью.

Оценка эффективности корректирующих мероприятий

В поле публичных обсуждений проблемного перекрёстка местным сообществом выносились различные потенциальные решения. В рамках данной работы с помощью построенной модели произведена оценка достаточности двух наиболее характерных из обсуждаемых альтернатив и связанных с ними комплексов корректирующих мероприятий.

Первое из альтернативных решений можно рассматривать как консервативное, поскольку его реализация не связана с существенными экономическими издержками и продолжительными ремонтными работами. Все мероприятия в рамках консервативных решений сводятся к изменению продолжительности и, возможно, последовательности фаз регулирующих светофоров [12].

Поскольку очевидный консенсус относительно целевой продолжительности тех или иных фаз светофора в публичном дискурсе отсутствовал, в рамках моделирования методично перебирались все потенциально приемлемые варианты с шагом в 1 с. Оптимальным решением считалось то, которое обеспечивает наименьшее среднее время пребывания агентов (транспортных средств, пассажиров общественного транспорта, пешеходов) в границах перекрёстка за два часа модельного времени. Результаты выбора оптимальной в указанном смысле продолжительности фаз для светофоров представлены в табл. 3.

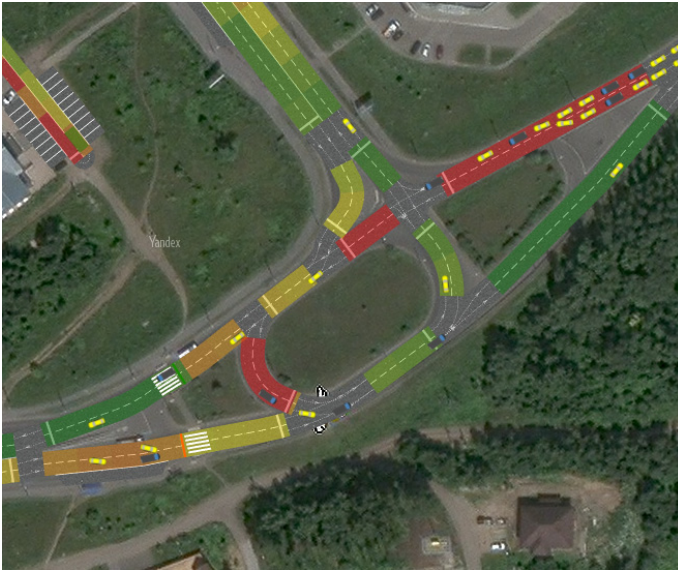


Рис. 4. Динамика дорожной ситуации после 120 минут моделирования. Цветовая схема на рисунке отражает среднюю скорость движения автомобилей на различных участках перекрёстка. Используются следующие обозначения: красный – до 10 км/ч; оранжевый – 10–20 км/ч; жёлтый – 20–30 км/ч; зелёный – более 40 км/ч

Fig. 4. Dynamics of the traffic situation after 120 minutes of simulation. The color scheme corresponds to the average speed of vehicles on a various crossroad segments. The following notation is applied: red – up to 10 km/h; orange – 10–20 km/h; yellow – 20–30 km/h; green – more than 40 km/h

Таблица 3. Модельные результаты оптимизации продолжительности фаз светофоров

Table 3. Model results of optimizing the duration of traffic light phases

Фазы регулирующих светофоров Phases of control traffic lights	Текущее значение, с Current value, s	Оптимальное значение, с Optimal value, s
Все зеленые/All green	115	119
Все зеленые, кроме светофора на ул. Осенней по направлению к перекрестку All green, except for the traffic light on the Osennyaya street towards the crossroads	20	26
Все красные, кроме светофора на ул. Осенней по направлению к перекрестку All red, except for the traffic light on the Osennyaya street towards the crossroads	25	20
Зеленые на ул. Ключева, красные на ул. Осенней Greens on the Klyuev street, red on the Osennyaya street	10	14
Среднее время пребывания агентов в системе Average residence time of agents in the system	94,48	90,02

Необходимо отметить, что описанная выше целевая функция имеет недостатки, поскольку, например, одинаковым образом учитывает пешеходов и транспортные средства. При этом без использования весовых коэффициентов не учитываются пассажиры в индивидуальном (не общественном) транспорте. По этой причине на рис. 5 представлены гистограммы пребывания в системе различных типов агентов до и после оптимизации продолжительности фаз светофоров. Из представленных гистограмм видно, что результат в части сокращения времени пребывания на перекрёстке легковых транспортных

средств составляет около 1,5 с. Опыт многократного запуска модели показывает, что такого изменения достаточно для того, чтобы не допустить возникновения заторов в вечерние часы пик в будние дни.

Второе альтернативное решение можно рассматривать как радикальное, поскольку оно предполагает расширение проезжей части и проведение других необходимых в этой связи мероприятий. В работе рассматривалось добавление дополнительной полосы к участку дороги по ул. Осенней в сторону ул. Энтузиастов, как это показано на рис. 6, а. Необходимо отметить, что помимо непосредственно дорожных работ такое решение потребует ряда дополнительных дорогостоящих мероприятий, в том числе переноса опоры линии электропередачи. Проведённый компьютерный эксперимент для новой конфигурации перекрёстка показал результаты, сопоставимые с описанным выше консервативным решением (среднее время пребывания агентов 89,51 с). Гистограмма, отражающая эффективность функционирования перекрёстка в новой конфигурации, представлена на рис. 6, б.

Сравнение гистограмм на рис. 5, б и рис. 6, б позволяет сделать вывод о том, что в зафиксированной в модели ситуации, актуальной на март 2023 г., радикальные решения, предполагающие реализацию комплекса дорогостоящих мероприятий, не представляются целесообразными. Однако в контексте развития восточных районов города в ближнесрочной перспективе рационально ожидать дальнейшего увеличения интенсивности транспортных потоков. Для того чтобы проверить эту гипотезу, была проведена серия дополнительных исследований исходного перекрёстка и перекрёстка после расширения проезжей части при увеличенной интенсивности потоков автотранспорта. Гистограммы времени пребывания агентов на перекрёстке для увеличенной на 5 % интенсивности каждого из потоков представлены на рис. 7 [13–15].

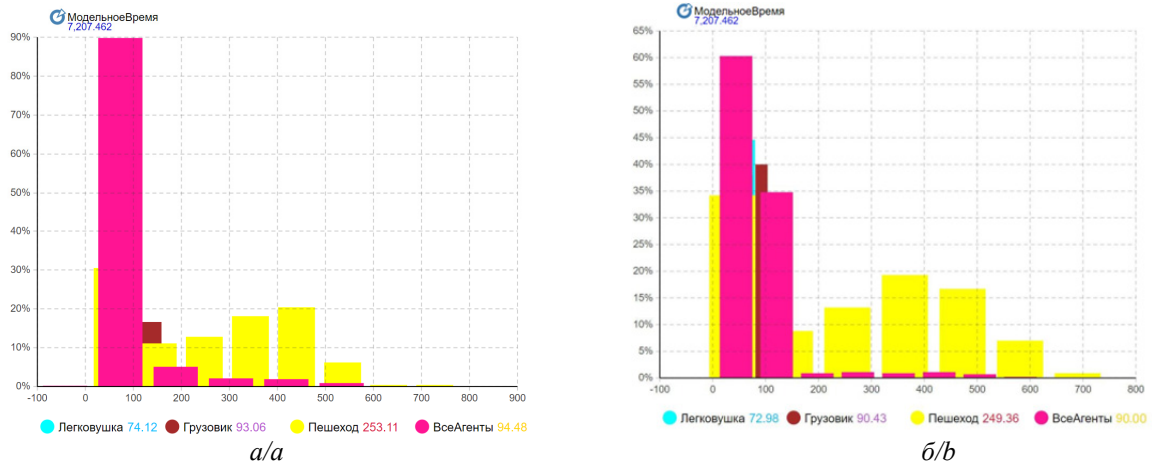


Рис. 5. Гистограммы времени пребывания агентов в границах перекрёстка: а) исходное состояние объекта; б) с оптимизированной продолжительностью фаз регулирующего светофора

Fig. 5. Histograms of the time spent by agents within the boundaries of the intersection: a) initial state of the object; b) with optimized duration of control traffic light phases

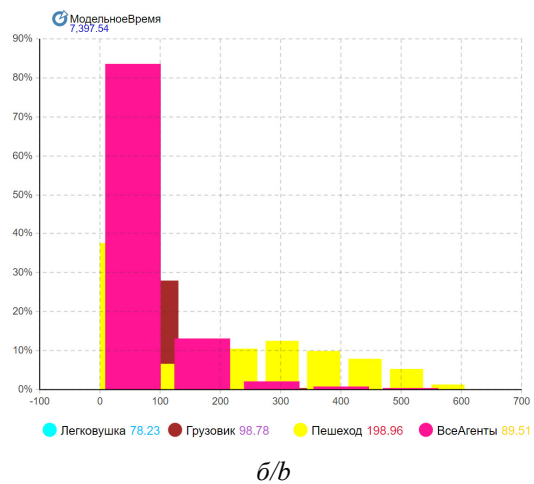
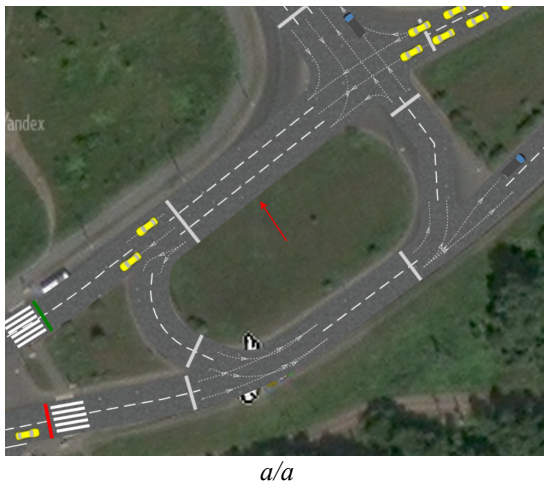


Рис. 6. Моделирование перекрёстка с увеличенной проезжей частью в одном из направлений: а) расположение дополнительной полосы; б) гистограмма времени пребывания агентов в пределах перекрёстка

Fig. 6. Simulation of an intersection with an increased carriageway in one of the directions: a) location of an additional lane; b) histogram of the time spent by agents within the intersection

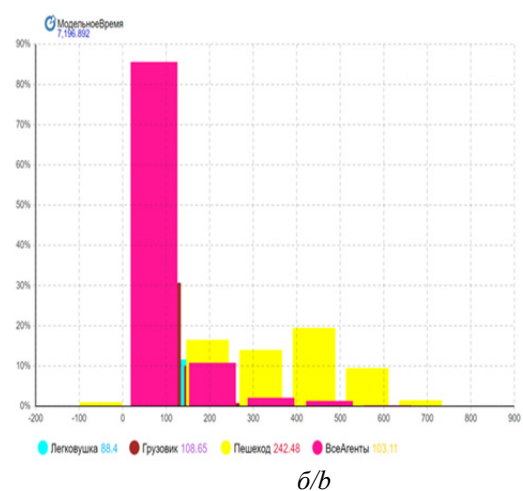
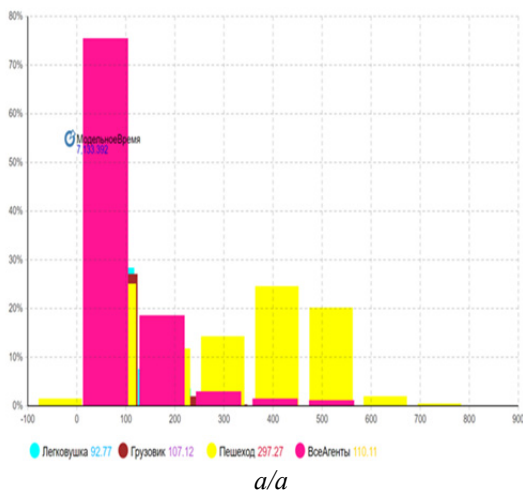


Рис. 7. Гистограммы времени пребывания агентов в границах перекрёстка с увеличенной интенсивностью транспортных потоков: а) модель перекрестка в неизменном виде; б) модель перекрёстка с дополнительной полосой

Fig. 7. Histograms of the time spent by agents within the boundaries of the intersection with increased intensity of traffic flows: a) model of the intersection unchanged; b) model of the intersection with an additional lane

Из рис. 7 видно, что увеличение интенсивности потоков приводит к ускоренному росту времени пребывания агентов в границах перекрестка. При этом перекресток с дополнительной полосой демонстрирует в целом существенно лучшие показатели. В особенности последнее касается пешеходов и объясняется тем обстоятельством, что пешеходы тратят меньше времени на ожидание автобусов на остановке, в то время как последние находятся в заторе. Таким образом, дальнейшее развитие жилищной инфраструктуры в северо-восточной части города потребует или альтернативных маршрутов в рамках городской дорожной сети в целом или внесения радикальных изменений в рассмотренный перекресток.

Заключение

Имитационное моделирование является важным этапом планирования дорожной сети города. В частности, имитационное моделирование позволяет оценить интенсивность и маршруты движения транспорта, а также их влияние на динамику дорожной ситуации в целом. Это полезно как при первоначальном проектировании новых участков дорожной сети, так и при планировании корректирующих и оптимизационных мероприятий на уже эксплуатирующихся участках.

Как показывает обзор тематических исследований, применение технологий компьютерного моделирования на каком-либо из этапов жизненного цикла объектов дорожной инфраструктуры позволяет повысить эффективность дорожной сети в целом, минимизируя при этом расходы на её содержание.

В этой работе технология компьютерного моделирования применялась для исследования участка дорожной сети на пересечении улиц Ключева и Энтузиастов в северо-восточной части города Томска. Необходимо отметить, что на указанном перекрестке систематически воз-

никают дорожные заторы, что обуславливает практическую значимость проблемы его оптимизации. Моделирование осуществлялось с применением специализированной библиотеки Road Traffic Library среды AnyLogic.

Параметры модели определялись на основании непосредственных наблюдений за транспортными потоками по месту. Мероприятия проводились в течение одной рабочей недели в период вечернего часа пик, когда интенсивность транспортных потоков и, следовательно, вероятность возникновения затора максимальны. Для повышения качества замеров все полевые работы сопровождались видео фиксацией. Валидация модели производилась по времени преодоления перекрестка автомобилем и по распределению средней скорости потока, отражающей динамику возникновения затора.

После подтверждения адекватности модели рассматриваемой ситуации с её помощью была произведена оценка двух корректирующих решений, активно обсуждаемых в локальном сообществе. Консервативное решение, состоящее в изменении продолжительности фаз регулирующего светофора, показало существенное увеличение пропускной способности перекрестка в ключевом направлении без значимых негативных последствий для других участников движения. Более радикальное решение, требующее переноса линии электропередачи и расширения проезжей части в одном из направлений, показало себя избыточным при имеющихся на момент полевых исследований потоках транспортных средств. Однако было показано, что небольшое увеличение потока, ожидаемое в ближайшем будущем, при сохранении общей конфигурации дорожной сети на Северо-Востоке Томска, сделает мероприятия по расширению проезжей части не только целесообразными, но и необходимыми.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касаткина Е.В., Кетова К.В. Компьютерное моделирование потоков в городской транспортной сети // Интеллектуальные системы в производстве. – 2021. – Т. 19. – № 1. – С. 89–99. EDN: UWLEIP. DOI: 10.22213/2410-9304-2021-1-89-99
2. Моделирование и визуализация транспортных потоков на элементах дорожной сети с использованием теории клеточных автоматов / А.А. Чечина, Н.Г. Чурбанова, М.А. Трапезникова, А.В. Ермаков, М.С. Герман // Материалы XII мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2019): в 4 т. Т. 3. – Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2019. – С. 159–163. EDN: OSNTDS
3. Лебедева О.А. Моделирование транспортных потоков в условиях перегруженной улично-дорожной сети // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2020. – Т. 1. – № 7. – С. 165–166. EDN: VONFYY. DOI: 10.36629/2686-9896-2020-1-165-166
4. Башкина А.В. Вопросы эффективности организации городских транспортных сетей с использованием транспортного моделирования // Системный анализ и логистика. – 2018. – № 3 (18). – С. 55–59.
5. Лютаев Д.А. Моделирование транспортной сети Владивостока на основе теории потокового равновесия // Информатика и системы управления. – 2006. – № 2 (12). – С. 17–28. EDN: IJENOB
6. Библиотека дорожного движения. URL: <https://anylogic.help/ru/library-reference-guides/road-traffic-library/index.html> (дата обращения 19.04.2023).
7. Тимофеева О.П., Туманова Д.Н., Ермаков О.П. Моделирование светофорного регулирования, основанного на нейронной сети, в среде AnyLogic // Информационные системы и технологии ИСТ-2017: Материалы докладов XXIII Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию НГТУ. – Нижний Новгород: Изд-во НГТУ, 2017. – С. 622–627.
8. Воронин Н.В. Моделирование маршрутов движения городского транспорта общественного пользования в программе AnyLogic // Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук: Материалы IV научно-практической международной конференции (школы-семинара) молодых ученых. – М.: А.В. Качалин, 2018. – С. 364–369.
9. Сапрыкин О.Н., Литвинова А.А. Организация интеллектуальной поддержки принятия решений при проектировании транспортно-пересадочного узла // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (ITIDS2017). – Уфа: УГАТУ, 2017. – С. 56–59.
10. Демин А.Г. Разработка имитационной модели пригородных пассажирских перевозок в Центральном федеральном округе // Имитационное моделирование. Теория и практика: Восьмая Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. – М.: НОИМ, 2017. – С. 360–365.
11. Сакович И.Л. Повышение качества организации пригородных пассажирских перевозок // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 7-1 (61). – С. 42–45.
12. Волкова Е.М., Колесова В.М. Построение городской транспортной системы на базе интеллектуальных технологий // Азиатско-тихоокеанский регион: экономика, политика, право. – 2021. – Т. 23. – № 1. – С. 38–52.
13. Койнова А.С. Использование AnyLogic для моделирования транспортных процессов // Научный Альманах. – 2017. – № 1-3 (27). – С. 83–85.
14. Похиленко А.А. Имитационное моделирование транспортной развязки // Труды XXVI Всероссийской студенческой научно-практической конференции. – Красноярск, 2022. Т. 1. – С. 123–125.
15. Stupin A., Kazakovtsev L., Stupina A. Control of traffic congestion by improving the rings and optimizing the phase lengths of traffic lights with the help of AnyLogic // Transportation Research Procedia – 2022. – V. 6. – P. 1104–1113.

Поступила 25.04.2023 г.
Принята: 20.06.2023 г.

Информация об авторах

Ли А.В., техник научно-инжинирингового центра «Доверенные системы с использованием квантовых технологий и криптографии» Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники.

Репкин В.С., техник научно-инжинирингового центра «Доверенные системы с использованием квантовых технологий и криптографии» Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники.

Семенов Г.Ю., техник научно-инжинирингового центра «Доверенные системы с использованием квантовых технологий и криптографии» Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники.

Сермавкин Н.И., техник научно-инжинирингового центра «Доверенные системы с использованием квантовых технологий и криптографии» Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники.

Фаерман В.А., старший преподаватель кафедры комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники.

УДК 553.98:551.763:550.836
DOI: 10.18799/29495407/2023/2/16

COMPUTER SIMULATION OF A PROBLEM CROSSROAD IN THE ANYLOGIC ENVIRONMENT

Artemy V. Li,
79131048719@yandex.ru

Vladimir S. Repkin,
repkin_vova@mail.ru

Grigory Yu. Semenov,
semenov.g.749-1@e.tusur.ru

Nikita I. Sermavkin,
iis.vseverske@mail.ru

Vladimir A. Faerman,
fva@fb.tusur.ru

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,
40, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

The relevance of the research is caused by the development of microdistricts in the north-east of the city of Tomsk, which increases the load on the intersection under consideration, also this section of the road network is a link between the north-eastern part of the city and the central districts. In addition, the passage to the only road and transport bridge lies through the considered crossroads. **The purpose** of the research is the use of simulation modeling in the Anylogic environment to evaluate the effectiveness of decisions to optimize a section of the road network in the north-east of the city of Tomsk. **The object** of research is a section of the road network of the city of Tomsk, located at the intersection of Klyuev, Osennaya and Entuziastov streets in the Zelenye Gorki microdistrict. **Methods:** simulation modeling in the AnyLogic 8.8.3 Professional environment (Road Traffic Library module), direct measurements of the intensity of car and pedestrian traffic in a place. **Results.** The simulation model of a section of the road network was implemented, validated and made available to the public; using the model, two potential solutions for optimizing this problem area were tested.

Key words: car traffic, simulation modeling, AnyLogic, Road Traffic Library, Tomsk.

REFERENCES

1. Kasatkina E.V., Ketova K.V. Computer simulation of flows in the urban transport network. *Intellekt. Sist. Proizv.*, 2021, Vol. 19, no. 1, pp. 89–99. In Rus. EDN: UWLEIP. DOI: 10.22213/2410-9304-2021-1-89-99.
2. Chechina A.A., Churbanova N.G., Trapeznikova M.A., Ermakov A.V., German M.S. Modelirovanie i vizualizatsiya transportnykh potokov na elementakh dorozhnoy seti s ispolzovaniem teorii kletochnykh avtomatov [Modeling and visualization of transport flows on the elements of the road network using the theory of cellular automata]. *Materialy XII multikonferentsii po problemam upravleniya* [Proc. of the XII multi-conference on management problems.]. Rostov-on-Don, Southern Federal University Publ., 2019. Vol. 3, pp. 159–163. EDN: OSNTDS
3. Lebedeva O.A. Modeling transport flows under conditions of a loaded street-road network. *Modern technologies and scientific and technical progress*, 2020, vol. 1, no. 7, pp. 165–166. In Rus. EDN: VONFYF. DOI: 10.36629/2686-9896-2020-1-165-165.
4. Bashkina A.V. Efficiency of organization of construction of urban transport networks. *System analysis and logistics*, 2018, no. 3 (18), pp. 55–59. In Rus.
5. Lyutayev D.A. Modelirovanie transportnoy seti Vladivostoka na osnove teorii potokovogo ravnovesiya [Modeling the transport network of Vladivostok based on the theory of flow equilibrium]. *Informatika i sistemy upravleniya*, 2006, no. 2 (12), pp. 17–28. EDN: IJENOB.
6. *Biblioteka dorozhnogo dvizheniya* [Road traffic library]. Available at: <https://anylogic.help/ru/library-reference-guides/road-traffic-library/index.html> (accessed 19 April 2023).
7. Timofeeva O.P., Tumanova D.N., Ermakov O.P. Modelirovanie svetofornogo regulirovaniya? Osnovannogo na neyronnoy seti, v srede AnyLogic [Modeling of traffic light control based on a neural network in the AnyLogic environment]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii IST-2017. Materialy dokladov XXIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnikeskoy konferentsii? Posvyashchennoy 100-letiyu NGTU* [Proceedings of the XXIII International Scientific and Technical Conference dedicated to the 100th anniversary of NSTU. Information Systems and Technologies IST-2017]. Nizhny Novgorod, NSTU Publ. house, 2017. pp. 622–627.
8. Voronin N.V. Modelirovanie marshrutov dvizheniya gorodskogo transporta obshchestvennogo polzovaniya v programme AnyLogic [Modeling the routes of urban public transport in the AnyLogic program]. *Prikladnaya matematika i informatika: sovremennye issledovaniya v oblasti estestvennykh i tekhnicheskikh nauk. Materialy IV nauchno-prakticheskoy mezhdunarodnoy konferentsii (shkoly-seminars) molodykh uchennykh* [Proceedings of the IV scientific and practical international conference (school-seminar) of young scientists. Applied mathematics and informatics: modern research in the field of natural and technical sciences]. Moscow, Kachalin A.V. Publ., 2018. pp. 364–369.
9. Saprykin O.N., Litvinova A.A. Organizatsiya intellektualnoy podderzhki prinyatiya resheniy pri proektirovanii transportno-posadochnogo uzla [Organization of intelligent decision support in the design of a transport interchange hub]. *Informatsionnye tekhnologii intellektualnoy podderzhki prinyatiya resheniy* [Information technologies for intelligent decision support (ITIDS'2017)]. Ufa, UGATU Publ., 2017. pp. 56–59.
10. Demin A.G. Razrabotka imitatsionnoy modeli prigorodnykh passazhirskikh perevozok v Tsentralnom federalnom okruge [Development of a simulation model for suburban passenger transportation in the Central Federal District]. *Imitatsionnoe modelirovanie: teoriya i praktika. Vosmaya Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya po imitatsionnomu modelirovaniyu i ego primeneniyu v nauke i promyshlennosti* [Eighth All-Russian Scientific and Practical Conference on Simulation Modeling and its Application in Science and Industry. Simulation Modeling. theory and practice (IMMOD-2017)]. Moscow, NOIM Publ., 2017. pp. 360–365.
11. Sakovich I.L. Improving the quality of the organization of suburban passenger transportation. *International Research Journal*, 2017, no. 7-1 (61), pp. 42–45. In Rus.

12. Volkova E.M., Kolesova V.M. Building an urban transport system based on intelligent technologies. *Asia-Pacific Region: Economics, Politics, Law*, 2021, vol. 23, no. 1, pp. 38–52. In Rus.
13. Koinova A.S. Using AnyLogic for modeling transport processes. *Scientific Almanac*, 2017, no. 1-3 (27), pp. 83–85. In Rus.
14. Pokhilenko A.A. Immitatsionnoe modelirovanie transportnoy razvyazki [Simulation modeling of a transport interchange]. *Trudy XXVI Vse-rossiyskoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Proceedings of the XXVI All-Russian Student Scientific and Practical Conference]. Krasnoyarsk, 2022. Vol. 1, pp. 123–125.
15. Stupin A., Kazakovtsev L., Stupina A. Control of traffic congestion by improving the rings and optimizing the phase lengths of traffic lights with the help of AnyLogic. *Transportation Research Procedia*, 2022, vol. 6, pp. 1104–1113.

Received: 25 April 2023.

Reviewed: 20 June 2023.

Information about the authors

Artemy V. Li, technician, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics.

Vladimir S. Repkin, technician, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics.

Grigory Yu. Semenov, technician, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics.

Nikita I. Sermavkin, technician, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics.

Vladimir A. Faerman, senior lecturer, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics.