

Научная статья  
УДК 004.94, 656.051  
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-1-76-88>  
EDN: TVDGZT



## ОРГАНИЗАЦИЯ РЕВЕРСИВНОГО ДВИЖЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ ANYLOGIC

**Н.И. Соколов, О.А. Шаламова, В.И. Кочергин** ✉  
Сибирский государственный университет путей сообщения,  
г. Новосибирск, Россия  
✉ ответственный автор  
[vkplus2011@yandex.ru](mailto:vkplus2011@yandex.ru)

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Развитие автомобилизации в Российской Федерации требует оптимальной организации безаварийного дорожного движения, что особенно актуально для городов и городских агломераций с миллионным населением. Решение проблем с возникновением заторов и пробок в крупных населенных пунктах, являющееся характерным и для г. Новосибирска, невозможно без своевременного развития дорожной инфраструктуры и оптимизации управления дорожным движением. Наиболее перспективными методами оптимизации управления транспортными потоками на городских магистралях и перекрестках являются различные методы моделирования, способствующие установлению причин формирования заторов на проезжей части и разработке мероприятий по их устранению.

**Материалы и методы.** Одним из перспективных методов анализа и моделирования транспортных потоков может служить имитационное моделирование в среде AnyLogic. В качестве объекта анализа условий и оптимизации организации движения выбрано пересечение улиц Георгия Колонды – Окружная в г. Новосибирске. Натурным способом на основе видеофиксации произведен сбор объективной информации о количестве транспортных средств, проезжающих через исследуемый перекресток, в утренние и вечерние часы пик.

**Результаты.** На первом этапе исследований для выбранного перекрестка в среде AnyLogic разработаны исходная и оптимизированная имитационные модели для утреннего и вечернего транспортных трафиков. В результате оптимизационного эксперимента на основе изменения фаз светофорного регулирования предоставляется возможность увеличения пропускной способности перекрестка на 6,6%. Организация реверсивного движения на одной из улиц перекрестка и оптимизация параметров работы светофоров позволит дополнительно увеличить пропускную способность еще на 7,7%.

**Обсуждение и заключение.** Результаты исследований подтверждают перспективность применения имитационного моделирования в среде AnyLogic для оптимизации параметров светофорного регулирования и целесообразность организации реверсивного движения на высоконагруженных городских магистралях.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** имитационное моделирование, реверсивное движение, оптимизационный эксперимент, транспортный поток, интенсивность дорожного движения, дорожный затор, пропускная способность, AnyLogic, перекресток дорог

**БЛАГОДАРНОСТИ:** авторы статьи выражают благодарность за нелегкий труд и экспертное мнение рецензентам, работавшим с данной статьей.

**Статья поступила в редакцию 13.11.2025; одобрена после рецензирования 16.12.2025; принята к публикации 16.02.2026.**

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

**Прозрачность финансовой деятельности:** авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Соколов Н.И., Шаламова О.А., Кочергин В.И. Организация реверсивного движения автотранспорта на основе моделирования в среде Anylogic // Вестник СибАДИ. 2026. Т. 23, № 1. С. 76-88. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-1-76-88>

© Соколов Н.И., Шаламова О.А., Кочергин В.И., 2026



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article  
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-1-76-88>  
EDN: TVDGZT

## ORGANIZATION OF REVERSIBLE TRAFFIC BASED ON MODELING IN ANYLOGIC ENVIRONMENT

*Nikolay I. Sokolov, Oksana A. Shalamova, Victor I. Kochergin* ✉

Siberian Transport University  
Novosibirsk, Russia

✉ corresponding author  
[vkplus2011@yandex.ru](mailto:vkplus2011@yandex.ru)

### ABSTRACT

**Introduction.** The development of transport use in the Russian Federation requires the optimal organization of accident-free road traffic, which is especially important for cities and urban agglomerations with a population exceeding one million. Solving problems with the occurrence of traffic congestion and traffic jams in large settlements such as Novosibirsk is impossible without the timely development of road infrastructure and optimization of traffic management. The most promising methods for optimizing traffic flow management on urban highways and intersections are various modeling methods that help to identify the reasons of traffic congestion on the roadway and to develop measures in order to eliminate them.

**Research methodology.** Simulation in the AnyLogic environment is one of the promising ways for analyzing and modeling traffic flows. The intersection of Georgiy Kolondy and Okruzhnaya streets in Novosibirsk city was chosen as the object of traffic flow condition analysis and optimization. Objective information on the number of vehicles passing through the intersection during the morning and evening “rush hours” was collected by video recording, a natural way of obtaining data.

**Results.** The initial and optimized simulation models for morning and evening traffic have been developed at the first stage of research for the selected intersection in the AnyLogic environment. As a result of the optimization experiment, based on the change in the phases of traffic light regulation, it has been found the possibility to increase the intersection capacity by 6.6 %. Establishing reversible traffic on one of the intersection streets and optimizing traffic light parameters will additionally increase flow capacity by another 7.7 %.

**Discussion and conclusion.** The research results confirm the prospects of using simulation modeling in the AnyLogic environment to optimize traffic light control parameters and the feasibility of implementing reversible traffic on heavily loaded urban highways.

**KEYWORDS:** simulation modeling, reversible traffic, optimization experiment, traffic flow, traffic intensity, traffic congestion, flow capacity, AnyLogic, road intersection

**ACKNOWLEDGEMENTS.** The authors express their gratitude to the reviewers of the article for their hard work and expert opinion.

**The article was submitted: November 13, 2025; approved after reviewing: December 16, 2025; accepted for publication: February 16, 2026.**

**All authors have read and approved the final manuscript.**

**Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.**

*For citation.* Sokolov N.I., Shalamova O.A., Kochergin V.I. Organization of reversible traffic based on modeling in AnyLogic environment. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2026; 23 (1): 76-88. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-1-76-88>

© Sokolov Nikolay I., Shalamova Oksana A., Kochergin Victor I., 2026



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

## ВВЕДЕНИЕ

Процесс автомобилизации Российской Федерации как сопутствующий эффект развития экономики и повышения благосостояния населения наряду с положительными моментами имеет и отрицательные последствия, такие как увеличение количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП), ухудшение экологической обстановки, заторы на дорогах и загромождение улиц припаркованными транспортными средствами. При этом более 70% ДТП происходит в населенных пунктах в первую очередь в крупных городах. Ущерб от дорожно-транспортных происшествий оценивается не только количеством пострадавших участников дорожного движения, но имеет и экономические последствия в виде затрат на лечение и частичной потери производительности активной части населения. Особенно значимым решением проблемы организации безаварийного дорожного движения является для городских агломераций с миллионным населением, причем по мере роста числа автомобилей на дорогах проблемы возникновения заторов и пробок в городах-миллионниках без своевременного развития дорожной инфраструктуры и оптимизации управления дорожным движением будут многократно возрастать.

Данное состояние вопроса представляется особенно характерным для г. Новосибирска, являющегося на сегодняшний момент крупнейшим мультимодальным транспортным узлом Сибирского федерального округа. Существующие планы объединения города и ближайших населенных пунктов в Новосибирскую агломерацию сталкиваются с имеющей место изначальной хаотичной застройкой города, обусловленной особенностями рельефа, и организацией дорожной инфраструктуры г. Новосибирска в соответствии с генеральными планами развития, разработанными еще в период существования Советского Союза и основанными на соответствующих прогнозах численности транспортных средств и населения. Новосибирск, являясь третьим городом страны по численности населения, занимает девятое место в мировом рейтинге городов по загруженности дорожного движения и количеству дорожных заторов, опережая Санкт-Петербург, Токио, Нью-Йорк и другие мировые столицы. Причинами такого состояния дел следует считать разделение города на две части рекой Обь, проблемы организации ремонтно-строительных работ в дорожной отрасли,

отсутствие дальнейшего развития метрополитена, бурный рост жилищного строительства и, соответственно, численности транспортных единиц на душу населения. Наиболее ярко это проявляется в транспортном обеспечении удаленных спальных районов г. Новосибирска.

Для оперативного решения имеющихся проблем требуется проведение комплексных исследований в области управления дорожным движением на основе современных методов анализа дорожной ситуации и моделирования транспортных потоков. Одним из основных мест концентрации ДТП являются перекрестки дорог, оказывающие при возрастании интенсивности дорожного движения значительное влияние на время проезда пересечения проезжих частей и возможные задержки трафика. Только наличие комплексного подхода к организации дорожного движения позволит реализовать создание эффективных, адаптивных и устойчивых транспортных систем, способных не противостоять современным вызовам городской среды и гарантирующих высокий уровень мобильности населения [1]. При этом для оценки параметров транспортного потока должны использоваться современные методы, обеспечивающие измерение и количественную оценку в каждой из транспортных зон, выявление и количественная оценка влияния факторов риска на безопасность движения на перекрестках [2]. Наиболее перспективными методами оптимизации управления транспортными потоками на городских пересечениях проезжих частей являются различные методы моделирования, позволяющие на основе анализа геометрии автострад и городских уличных систем способствовать установлению причин формирования заторов на проезжей части и разработке мероприятий по их устранению. Подобные методы исследования применяются уже в течение длительного отрезка времени в мировой и отечественной практике, однако процессы постоянного развития и изменения дорожной ситуации в каждом конкретном населенном пункте требуют оперативного решения возникающих проблем [3, 4, 5]. Особенно актуальными вопросы использования интеллектуальных технологий представляются в связи с возможностью их использования не только для управления дорожными сигналами на перекрестках, но и при использовании в перспективе дорожной сети наряду с традиционными автомобилями автономными транспортными средствами [6, 7, 8].

Одним из перспективных направлений совершенствования организации городского дорожного движения является использование реверсивных полос. Реверсивное движение представляет собой в достаточной степени эффективный инструмент организации транспортных потоков в условиях ограниченной пропускной способности дорог и высокой интенсивности движения в определенные периоды времени. При использовании реверсивных полос и адекватном оперативном управлении реверсивным движением сокращается время проезда перекрестков и уменьшается количество заторов. Также доказано, что в этом случае снижается уровень стрессовых ситуаций у водителей транспортных средств, что является немаловажным, поскольку личностные качества и показатели психофизиологического состояния водителей в значительной степени влияют на безопасность дорожного движения [9].

Цель настоящего исследования заключается в исследовании перспектив организации реверсивного движения автотранспорта на основе моделирования в среде AnyLogic. Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих основных задач: анализ транспортных потоков на одном из проблемных перекрестков г. Новосибирска, разработка и анализ имитационных моделей движения транспортных средств в среде AnyLogic, разработка оптимизационных мероприятий и оценка их эффективности, формирование предложений по совершенствованию организации дорожного движения на выбранном перекрестке с использованием реверсивного движения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Применение среды AnyLogic, объединяющей методы системной динамики и процессного моделирования, является одним из возможных аналитических методов и инструментов имитационного моделирования, позволяющих найти оптимальные решения в заявленной области исследований. Известны примеры успешного применения AnyLogic для моделирования транспортных процессов [10, 11, 12], но каждая конкретная логистическая либо иная аналогичная задача требует индивидуального подхода к анализу и формулировке поставленных задач. В качестве объекта анализа условий и организации движения для достижения поставленной цели выбрано пересечение улиц Георгия Колонды – Окружная в г. Новосибирске [13, 14], представляющее собой одно из немногих возможных ва-

риантов проезда к бурно развивающемуся микрорайону Родники и характеризующееся ежедневным интенсивным движением в часы пик. Альтернативные варианты проезда жителей к спальному микрорайону возможны через улицы Курчатова, Мясниковой, Красных Зорь, Краузе, Рассветная, но наиболее коротким и востребованным маршрутом движения является проезд через перекресток улиц Георгия Колонды – Окружная, являющийся в то же время наиболее проблемным участком. Водители на данном перекрестке прибегают к вынужденному нарушению правил дорожного движения при движении по улице Георгия Колонды, поворачивая налево на улицу Окружную с правой полосы, так как интенсивность движения по левой полосе значительно выше по сравнению с правой полосой, которая перегружена и преимущественно используется водителями маршрутных транспортных средств для поворота направо на улицу Окружную. В итоге создаются аварийные ситуации на перекрестке и заторы по причине несоблюдения рядности движения. Участники дорожного движения, следующие по улице Окружная с улицы Светлановская, не могут выехать на перекресток на разрешающий сигнал светофора ввиду его загруженности. Не следует также оставлять без внимания и перекресток Рекордного переулка, улиц Окружная и Фадеева. Даже помимо времени пиковых значений трафика на участке улицы Окружная между двумя светофорами практически постоянно возникают дорожные заторы. В направлении с улицы Фадеева в сторону улицы Георгия Колонды проблемы движения меньших масштабов благодаря наличию дополнительной секции светофора, согласно которой поворот направо с улицы Окружная на улицу Георгия Колонды разрешен практически постоянно, за исключением того времени, когда пешеходам горит разрешающий сигнал для перехода проезжей части по улице Георгия Колонды. Наблюдения показали, что и в данном случае водители нарушают ПДД и поворачивают без горящей зеленой стрелки светофора, подвергая опасности жизнь и здоровье пешеходов. Схема выбранного перекрестка представлена на рисунке 1, на котором цифрами 1, 2 и 3 условно обозначены направления движения трафика.

Перекресток оснащен средствами светофорного регулирования. Установленный над знаком 2.1 «Главная дорога» знак 8.13 «Направление главной дороги» определяет и указывает поворот налево с улицы Георгия

Колонды на улице Окружную, а также поворот направо с улицы Окружной на улицу Георгия Колонды как направление главной дороги на перекрестке. Соответственно на улице Окружная при движении с улицы Светлановская установлены знаки приоритета 2.4 «Уступите дорогу» и 8.13 «Направление главной дороги», а светофоры оборудованы дополнительной секцией для поворота на улицу Георгия Колонды. Расположенный перед перекрестком на улице Георгия Колонды пешеходный переход обозначен знаком 5.19.1 «Пешеходный переход» и продублирован расположенным на высоте 5 м над дорожным полотном дополнительным аналогичным дорожным знаком. Имеется также разметка 1.14.1 «Пешеходный переход», тротуары от проезжей части отделены ограждениями. Остановочные пункты общественного транспорта, обозначенные знаком 5.16 «Место остановки автобуса», расположены с обеих сторон улицы Георгия Колонды. Длительность интервалов включения разрешающего сигнала для перехода пешеходов через улицу Георгия Колонды со-

ставляет 13 с; для пешеходов, не успевающих завершить переход за указанный промежуток времени, предусмотрен островок безопасности с разметкой 1.16.1. Транспортные потоки попутных транспортных средств разделены разметкой 1.5, для разделения транспортных средств встречных направлений используется разметка 1.3.

Анализ дорожной обстановки на исследуемом перекрестке выявил недостатки организации дорожного движения, связанные с географической удаленностью спального района Родники Калининского района г. Новосибирска от центра города. Загруженность трафика на данном перекрестке зависит от времени суток: в утренние часы дорожный поток сосредоточен на направлении от спального района к центру, а вечером основная масса транспортных средств движется в обратном направлении. Во втором случае определенный прирост трафика в вечерние часы связан с необходимостью проезда жителей Калининского и Завельцовского районов к филиалам гипермаркетов «Лента» и «Лемана ПРО».

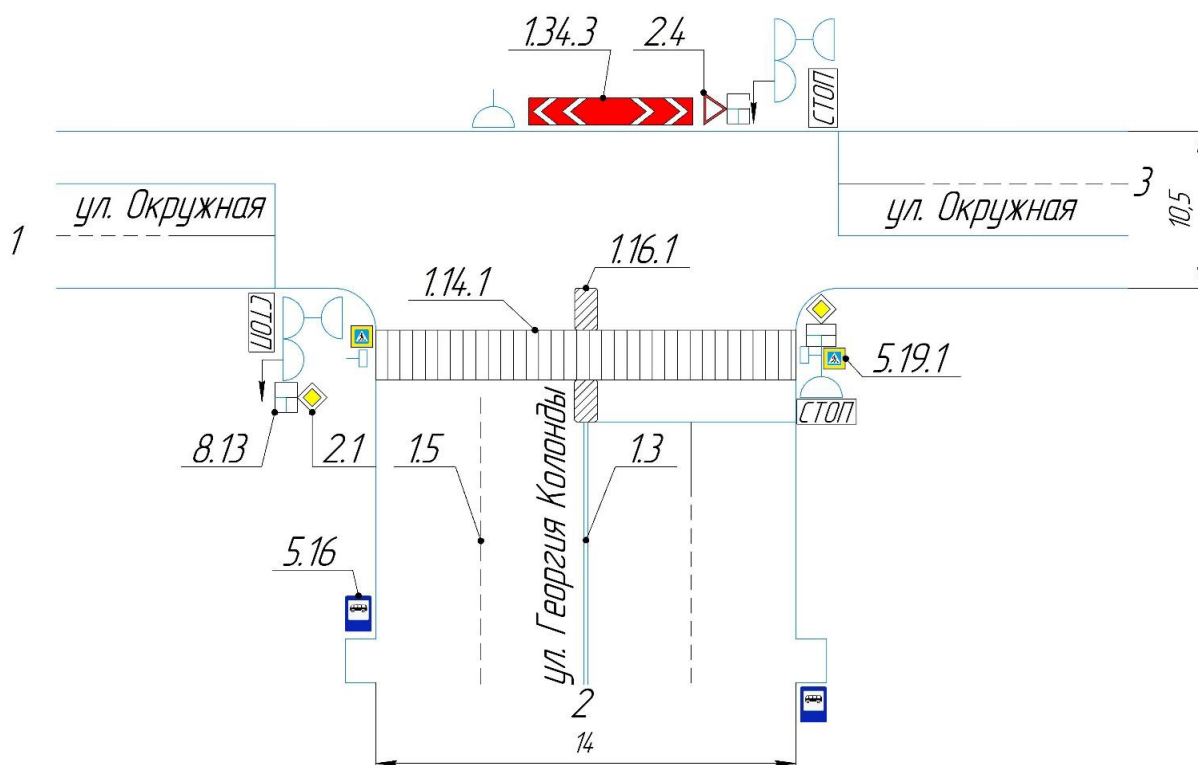


Рисунок 1 – Схема исследуемого перекрестка дорог  
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Diagram of the investigated road intersection  
Source: compiled by the authors.

Таблица

**Состав и интенсивность движения транспортных потоков на выбранном участке дорожной сети во время утреннего и вечернего часов пик**  
Источник: составлено авторами.

Table

**Modes and intensity of traffic flows on the selected section of the road network during morning and evening «rush hours».**  
Source: compiled by the authors.

№ направления	№ полосы	Интенсивность движения транспортных потоков авт./ч							
		Легковые		Грузовые		Автобусы		Автопоезда	
		вечер	утро	вечер	утро	вечер	утро	вечер	утро
1	2	732	639	24	32	8	11	-	4
	3	49	84	44	6	-	3	3	-
2	1	480	823	24	61	10	12	1	-
	3	12	26	5	15	8	5	-	-
3	2	-	1	-	1	4	6	-	1
	1	55	181	16	10	2	-	-	1

Сбор необходимой для аналитических исследований и моделирования параметров транспортных потоков на пересечении улиц Георгия Колонды – Окружная осуществлялся натурным способом на основе видеофиксации. Объективная информация о количестве транспортных средств, проезжающих через исследуемый перекресток, фиксировалась в сентябре 2025 г. в различное время суток, характеризующихся максимальными (пиковыми) значениями трафика: в будние дни в утренний (с 09:00 до 10:00) и вечерний (с 17:20 до 18:20) периоды. В это время автомобильные заторы на анализируемом перекрестке достигали восьми баллов, а их протяженность по направлению от центра к Родникам достигала 570 м. Результаты изучения состава трафика и интенсивности движения транспортных потоков представлены в таблице. В итоге установлено, что в утренние часы средние показатели общей численности транспортных средств на перекрестке составляют 1912 ед., среди которых преобладающее количество среди различных видов автомобильного подвижного состава составляют легковые автомобили в объеме 1754 ед. или же 91,3% от общей численности трафика автотранспорта. Также в транспортном потоке отмечено наличие грузовых автомобилей в количестве 125 ед. (6,5%), автобусов – 37 ед. (1,9%) и автопоездов – 6 ед. (0,3%). В свою очередь, общая численность автомобилей на перекрестке в вечерние часы составила 1477 ед., где также преобладают легковые автомобили в количестве 1328 ед. или 89,9% от общей численности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Целевой функцией имитационного моделирования возможных вариантов организации дорожного движения является минимизация времени ожидания проезда перекрестка транспортными средствами  $T$  или, соответственно, обеспечение максимальной пропускной способности перекрестка при пиковых значениях трафика, что в первую очередь достигается путем оптимизации длительности фаз светофорного регулирования. Применительно к наиболее загруженным направлениям движения на исследуемом перекрестке при включении разрешающих сигналов светофора со стороны улицы Георгия Колонды и дополнительной секции со стороны улицы Окружная, разрешающей поворот направо (направления движения 2-1 и 1-2), данную целевую функцию можно представить в следующем виде:

$$T(t_{21}, t_{12}) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Граничными условиями при оптимизации движения автотранспорта со средней интенсивностью  $q$  являются минимальная  $t_{\min}$  и максимальная  $t_{\max}$  длительность разрешающих сигналов светофоров, определяющие в итоге суммарно возможное количество транспортных единиц  $M$ , проезжающих перекресток за полный цикл работы светофоров, которое зависит также от состава транспортного потока и состояния дорожного покрытия:

$$T \geq t_{\min}; (q_{21} + q_{12})t_{\max} \leq M. \quad (2)$$

Кроме того, необходимо учитывать ограничения в виде количества полос  $n$  на прилегающих к перекрестку проезжих частях, пригодных для организации реверсивного движения. Указанные ограничения в заданной ситуации при наличии очереди без учета времени подъезда транспортных средств к перекрестку позволяют описать функцию (1) следующим выражением:

$$T = \frac{t_{21}q_{21}}{2} + \frac{t_{12}q_{12}}{n} \rightarrow \min. \quad (3)$$

Имитационные модели в среде AnyLogic создавались на основе спутниковых снимков местности, позволяющих оценить все нюансы организации движения на выбранном в качестве объекта исследований участке дорожной инфраструктуры. Обе примыкающие к перекрестку проезжие части предназначены для двустороннего движения, причем на улице Георгия Колонды имеется две полосы движения в каждом направлении; на улице Окружной со стороны улицы Фадеева две полосы при движении по направлению к улице Георгия Колонды, а на встречном движении после пересечения с улицей Георгия Колонды – одна полоса. Исходные длительности фаз работы светофоров на перекрестке составляют следующие временные интервалы:  $p_1 = 55$  с,  $p_2 = 33$  с,  $p_3 = 67$  с,  $p_4 = 35$  с. Результаты пятичасовой работы исходной имитационной модели с интенсивностью дорожного движения,

полученной в период максимальных значений утреннего трафика, представлены на рисунке 2, а. Среднее время нахождения агента в модели составило 73,688 с, а пропускная способность исследуемого перекрестка за пять часов составила 5640 ед.

Чтобы увеличить пропускную способность, снизить время ожидания разрешающего сигнала светофора на исследуемом перекрестке и устранить причины возникновения утреннего дорожного затора на данном участке дорожной сети, сопровождающегося затрудненным поворотом направо с улицы Окружная на улицу Георгия Колонды, предлагается оптимизировать регулировку фаз и цикла работы светофоров с учетом дорожного движения на пересечении улиц Окружная – Рекордный переулок. В результате проведения оптимизационного эксперимента было воспроизведено 462 итерации (рисунок 2, б), в итоге выбрана итерация с наименьшим средним временем нахождения агента в модели, которое составило 52,618 с фазами работы светофоров, составляющими  $p_1 = 60$  с,  $p_2 = 22$  с,  $p_3 = 64$  с,  $p_4 = 18$  с. Пропускная способность дорожного участка за пятичасовой промежуток времени при этом увеличилась до 6014 ед. Таким образом, предлагаемые оптимизационные мероприятия уменьшают среднее время нахождения агента на 29% за 5 ч работы имитационной модели и увеличивают пропускную способность на 374 автомобиля.



Рисунок 2 – Имитационные модели утренней дорожной обстановки: а – исходная; б – оптимизированная  
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Simulation models of morning road conditions: a) initial; b) optimized  
Source: compiled by the authors.

Аналогичные исследования по оптимизации имитационной модели были проведены и для вечернего часа пик. Среднее время нахождения агента в результате составило 114,763 с, а пропускная способность перекрестка – 5937 автомобилей. Постоянные затруднения при повороте налево с улицы Георгия Колонды на улицу Окружная в вечерние часы объясняются единовременным возвращением жителей спального микрорайона Родники и прилегающих территорий с работы домой, при этом не наблюдается характерного для утреннего трафика скопления автомобилей с улицы Окружной в направлении улицы Георгия Колонды. С целью минимизации времени проезда и увеличения пропускной способности исследуемого перекрестка на втором этапе исследований в имитационную модель были внесены изменения путем выделения одной из полос по улице Окружная в направлении Рекордного переулка и организации по ней реверсивного движения (рисунок 3).

В настоящее время моделирование транспортных потоков при организации реверсивных полос в среде AnyLogic не нашло широкого распространения. Известные исследования в этой области преимущественно направлены на организацию движения по полосам разгона при выезде с парковочных площадок и при организации въезда на платные участки дорог [15, 16, 17, 18, 19, 20]. Тем не менее полученные результаты показывают возможность достижения поставленной цели при использовании данного вида программного обеспечения. При имитационном моделировании использовалась компьютерная симуляция, причем предлагаемые модели учитывали различные сценарии изменения направления полос в случае применения реверсивного движения в течение суток, и выполнялся анализ влияния каждого из возможных сценариев на общее состояние транспортной сети.



Рисунок 3 – Исходная имитационная модель с использованием реверсивного движения  
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Initial simulation model with the use of reversible traffic  
Source: compiled by the authors.

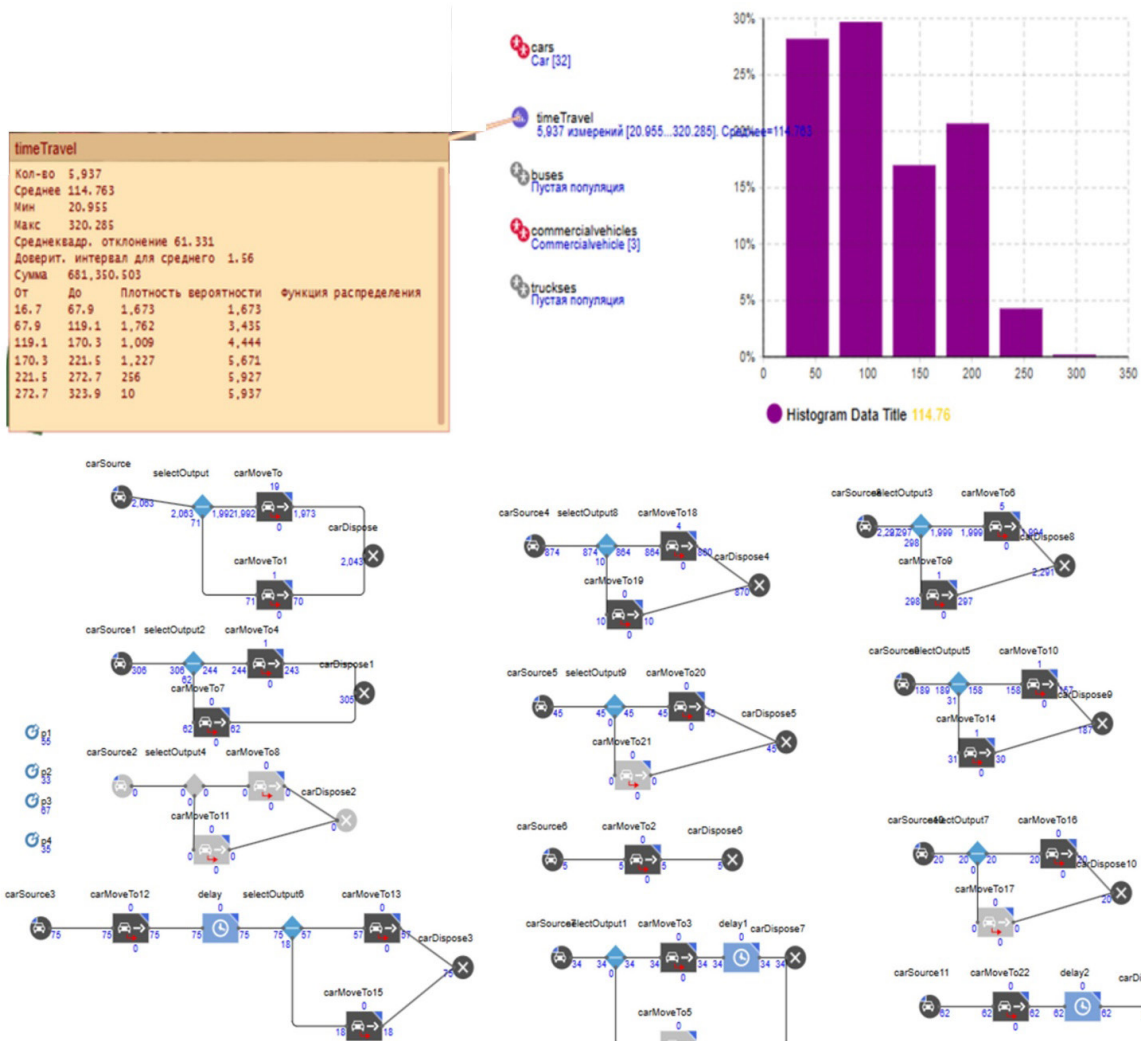


Рисунок 4 – Результаты работы имитационной модели  
 Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Simulation model results  
 Source: compiled by the authors.

На рисунке 4 представлен фрагмент результатов работы имитационной модели и машинные результаты вычислительных экспериментов в виде блок-схем, задающих логику передвижения агентов в модели, и гистограммы, отображающей значения времени проезда агентов через модель и подсчитывающей среднее значение нахождения агента в модели. Использование системной динамики среды AnyLogic при решении таких сложных проблем информационных систем, как оптимизация дорожной сети и организация дорожного движения, является достаточно эффективной парадигмой исследований.

Использование реверсивного движения позволило снизить среднее время ожидания проезда перекрестка на 36,92 с и увеличить число агентов, прошедших в имитационной модели за пять часов на 940 ед. Однако и этот положительный результат можно улучшить, используя подобранные в ходе оптимизационного эксперимента с учетом внедрения реверсивного движения параметры светофорного регулирования с фазами  $p_1 = 50$  с,  $p_2 = 22$  с,  $p_3 = 58$  с,  $p_4 = 16$  с. Результаты работы оптимизированной имитационной модели представлены на рисунке 5.



Рисунок 5 – Оптимизированная имитационная модель с использованием реверсивного движения  
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Optimized simulation model with the use of reversible traffic  
Source: compiled by the authors.

Реализация данной модели реверсивного движения требует комплексного подхода, включающего использование современных технологий и инженерно-технических решений, а также ряда технических аспектов, обеспечивающих безопасность и эффективность изменения направления транспортного потока. Основными моментами, которые следует учитывать при проектировании и эксплуатации реверсивных полос, являются:

- использование специальных светофоров с дополнительными секциями, управляющими движением по реверсивным полосам;
- наличие дорожных знаков дорожного движения переменной информации и при необходимости временных дорожных знаков;
- нанесение предусмотренной ГОСТом дорожной разметки;
- эффективная автоматизированная система управления реверсивным движением;
- установка табло и панелей, информирующих водителей о режиме работы полос;
- использование камер фиксации нарушения правил дорожного движения.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные эксперименты показали, что введение реверсивной полосы существенно улучшает ситуацию на исследуемом перекрестке г. Новосибирска. В результате анализа разработанной оптимизированной имитационной модели зафиксировано снижение среднего времени задержки проезда перекрестка на 14,92 с и повышение общей пропускной способности перекрестка на 460 автомобилей за 5 ч по сравнению с исходной ситуацией. Анализ также показал, что организация реверсивного движения способна в достаточной степени эффективно решать проблемы дорожных заторов, при этом важнейшим условием его успешного внедрения является точное определение временных интервалов переключения полос и учет особенностей местной дорожной сети. Применение современных технологий моделирования, в том числе в среде AnyLogic, позволяет оптимизировать процесс проектирования и внедрить наиболее эффективные схемы организации дорожного движения.

Полученные результаты имеют значительный потенциал для реализации и могут служить основой для разработки комплексных программ совершенствования транспортной инфраструктуры, включающей модернизацию уличной дорожной сети, развитие общественного транспорта и внедрение интеллектуальных систем управления транспортом. Предлагаемые мероприятия позволят сделать передвижение по городу комфортным и безопасным для всех участников дорожного движения.

Следует учесть, что, несмотря на полученные положительные результаты, разработанная имитационная модель имеет ряд дополнительных ограничений, обеспечивающих корректную интерпретацию выводов и определяющих направления для будущих исследований:

- учет детерминированности и стохастичности поведения агентов (модель предполагает строгое соблюдение правил дорожного движения);
- ограниченный учет состояния внешней среды и дорожного покрытия;
- эффект «узнавания» реверсивной полосы водителями (модель не учитывает период адаптации, при котором часть водителей может поначалу совершать ошибки при переобучении);
- решение целого ряда технических аспектов реализации реверсивного движения, таких как установка реверсивных светофоров и информационных табло, нанесение дорожной разметки, наличие технических средств обеспечения безопасности движения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа направлена на привлечение внимания к вопросам модернизации городской среды и развития новых подходов к управлению транспортными потоками. Эффективное использование ресурсов городской инфраструктуры способствует улучшению качества жизни населения и повышению привлекательности населенных пунктов для проживания и бизнеса. Результаты исследований подтверждают перспективность применения имитационного моделирования в среде AnyLogic в целях оптимизации параметров светофорного регулирования и организации реверсивного движения на высоконагруженных городских магистралях. Успешное использование предлагаемых подходов к разработке имитационных моделей дорожного движения возможно при условии получения объективных статисти-

стических данных о времени проезда и пропускной способности анализируемых участков дорожного хозяйства крупных населенных пунктов и городских агломераций.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Швецов В.Л. Роль транспортного планирования в интеграционных платформах ИТС: комплексный подход к управлению городской мобильностью // Транспортное дело России. 2025. № 4. С. 141–143.
2. Abdelhalim A., Abbas M. A real-time safety-based optimal velocity model // IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems. 2021. 3. P. 165–175. <https://doi.org/10.1109/OJITS.2022.3147744>
3. Zio E., Sansavini G., Maja R., Marchionni G. Analysis of the safety efficiency of a road network: a real case study // R&ATA.2008. 2 (Vol. 1). P. 172–179.
4. Eom M., Kim B. The traffic signal control problem for intersections: a review // European Transport Research Review. 2020. 12 (1): 50. <https://doi.org/10.1186/s12544-020-00440-8>
5. Шаршеева К.Т., Тультемирова Г.У., Алымкулова М.С. [и др.]. Использование метода имитационного моделирования для определения оптимальных режимов работы светофоров на исследуемых перекрестках // Бюллетень науки и практики. 2023. Т. 9, № 1. С. 229–237. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/86>
6. Наумова Н.А., Домбровский А.Н., Данович Л.М. Метод управления светофорной сигнализацией в условиях функционирования интеллектуальных транспортных систем // Фундаментальные исследования. 2017. № 9-1. С. 64–68.
7. Наумова Н.А. Моделирование и оптимизация параметров светофорного регулирования при пересечении многополосных автомобильных дорог // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 8. С. 71–76. <https://doi.org/10.17513/snt.39269>
8. Olstam J., Häll C.H., Bhattacharyya K., Gebrehiwot R. Traffic impacts of dynamic bus lanes: a simulation experiment of real-world bus operations // European Transport Research Review/ 2025. Vol. 17, Article number: 10. <https://doi.org/10.1186/s12544-025-00712-1>
9. 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. P. 1104–1113. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.113>
10. Адаев Р.Б., Ветрова О.А. Применение средств визуализации для задач оптимизации транспортной модели // Научная визуализация. 2023. Т. 15, № 2. С. 22–37. <https://doi.org/10.26583/sv.15.2.03>
11. Шамлицкий Я.И., Охота А.С., Мироненко С.Н. Сравнение адаптивного и жесткого алгоритмов управления дорожным движением на базе имитационной модели в среде AnyLogic // Программные

продукты и системы. 2018. Т. 31, № 2. С. 403–408. <https://doi.org/10.15827/0236-235X.031.2.403-408>

12. Bauer V.I., Bazanov A., Kozin E.S., Nemkov V.M. Optimization of technological transport sets using anylogic simulation environment // *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*. 2019. 42 (2). P. 41–43. <https://doi.org/10.26480/jmerd.02.2019.41.43>

13. Соколов Н.И., Шаламова О.А. Анализ транспортной ситуации на перекрестках г. Новосибирска. Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. 2022. 2 (5). С. 25–29. [https://doi.org/10.52170/2712-9195/2022\\_2\\_25](https://doi.org/10.52170/2712-9195/2022_2_25)

14. Sokolov N., Shalamova O., Kochergin V. Optimization of urban agglomeration transport flows // *E3S Web of Conferences* 471 (1). 04025. January 2024. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447104025>

15. Talavirya A., Laskin M., Dubgorn A. Application of simulation modeling to assess the operation of urban toll plazas // *Simulation Modeling - Recent Advances, New Perspectives, and Applications*. November 2023. P. 1–39. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1002003>.

16. Talavirya A., Laskin M. Simulation modeling of the operation of the toll plaza with reversible lanes // *Wseas transactions on systems*. 2024. Vol. 23. P. 215–222. <https://doi.org/10.37394/23202.2024.23.24>

17. Chintaman B., Satish C., Ashish D. Estimation of system delay based toll equivalency factors at toll plazas using simulation // *International Journal of Transportation Science and Technology*. 2023. Vol. 12. No. 3. P. 822–835. <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2022.08.002>

18. Chintaman B., Ashish D., Satish C., Drivers' willingness to shift towards electronic toll collection system in India // *Case Studies on Transport Policy*. 2023. Vol.13. 101046. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.101046>

19. Navandar Y.V., Patel D.A., Dhamaniya A., Velmurugan S., Bar Ch. Users perception based service quality analysis at toll plazas using structural equation modeling // *Case Studies on Transport Policy*. 2023. Vol.13. 101053. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.101053>

20. Petrovic A., Delibašić B., Nikolić M., Bugarić U. Controlling highway toll stations using deep learning, queuing theory, and differential evolution // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. December 2022. 119 (2). <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105683>

## REFERENCES

1. Shveczov V.L. Rol' transportnogo planirovaniya v integracionnykh platformakh ITS: kompleksnyj podkhod k upravleniyu gorodskoj mobil'nost'y [The role of transportation planning in intelligent transportation integration platforms: a comprehensive approach to urban mobility management]. *Transportnoe delo Rossii*. 2025; 4: 141–143. (in Russ.)

2. Abdelhalim A., Abbas M. A real-time safety-based optimal velocity model. *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*. 2021; 3: 165–175. <https://doi.org/10.1109/OJITS.2022.3147744>

3. Zio E., Sansavini G., Maja R., Marchionni G. Analysis of the safety efficiency of a road network: a real case study. *R&RATA*. 2008; 2 (1): 172–179.

4. Eom M., Kim B., 2020. The traffic signal control problem for intersections: a review. *European Transport Research Review*. 2020; 12 (1): 50. <https://doi.org/10.1186/s12544-020-00440-8>

5. Sharsheeva K.T., Tul'temirova G.U., Aly'mkulova M.S. et al. Ispol'zovanie metoda imitacionnogo modelirovaniya dlya opredeleniya optimal'nykh rezhimov raboty svetoforov na issleduemykh perekrestkakh [Use of the simulation method to determine the optimal operation of traffic lights at the intersections under study]. *Byulleten' nauki i praktiki*. 2023; 9 (1): 229–237. (in Russ.) <https://doi.org/10.33619/2414-2948/86>.

6. Naumova N.A., Dombrovskij A.N., Danovich L.M. Metod upravleniya svetofornoj signalizaciej v usloviyakh funkcionirovaniya intellektual'nykh transportnykh sistem [Method of traffic light control in operation of intelligent transport systems]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2017; 9-1: 64–68. (in Russ.)

7. Naumova N.A. Modelirovanie i optimizaciya parametrov svetofornogo regulirovaniya pri peresechenii mnogopolosnykh avtomobil'nykh dorog [Method of traffic light control in operation of intelligent transport systems]. *Sovremennyye naukoemkie tekhnologii*. 2020; 8: 71–76. (in Russ.) <https://doi.org/10.17513/snt.39269>.

8. Olstam J., Häll C.H., Bhattacharyya K., Gebrehiwot R. Traffic impacts of dynamic bus lanes: a simulation experiment of real-world bus operations. *European Transport Research Review*. 2025; 17: 10. <https://doi.org/10.1186/s12544-025-00712-1>

9. 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; 6: 1104–1113. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.113>

10. Adaev R.B., Vetrova O.A. Primenenie sredstv vizualizacii dlya zadach optimizacii transportnoj modeli [Using visualizers for transport model optimization tasks]. *Nauchnaya vizualizaciya*. 2023; 15 (2): 22–37. (in Russ.) <https://doi.org/10.26583/sv.15.2.03>.

11. Shamliczkij Ya.I., Okhota A.S., Mironenko S.N. Sravnenie adaptivnogo i zhestkogo algoritmov upravleniya dorozhnym dvizheniem na baze imitacionnoj modeli v srede AnyLogic [AnyLogic adaptive vs. rigid traffic control algorithms]. *Programmnye produkty i sistemy*. 2018; 31 (2): 403–408. (in Russ.) <https://doi.org/10.15827/0236-235X.031.2.403-408>.

12. Bauer V.I., Bazanov A., Kozin E.S., Nemkov V.M. Optimization of technological transport sets using anylogic simulation environment. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*. 2019; 42 (2): 41–43. <https://doi.org/10.26480/jmerd.02.2019.41.43>

13. Sokolov N.I., Shalamova O.A. Analiz transportnoj situacii na perekrestkakh g. Novosibirsk [Analysis of the transport situation at the intersections of Novosibirsk]. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy transporta*. 2022; 2 (5): 25–29. (in Russ.) [https://doi.org/10.52170/2712-9195/2022\\_2\\_25](https://doi.org/10.52170/2712-9195/2022_2_25).

14. Sokolov N., Shalamova O., Kochergin V. Optimization of urban agglomeration transport flows. *E3S Web of Conferences*. January 2024; 471 (1): 04025. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447104025>

15. Talavirya A., Laskin M., Dubgorn A., Application of simulation modeling to assess the operation of urban toll plazas. *Simulation Modeling - Recent Advances, New Perspectives, and Applications*. November 2023: 1–39. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1002003>

16. Talavirya A., Laskin M. Simulation modeling of the operation of the toll plaza with reversible lanes. *Wseas transactions on systems*. 2024; 23: 215–222. <https://doi.org/10.37394/23202.2024.23.24>

17. Chintaman B., Satish C., Ashish D. Estimation of system delay based toll equivalency factors at toll plazas using simulation. *International Journal of Transportation Science and Technology*. 2023; 12 (3): 822–835. <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2022.08.002>

18. Chintaman B., Ashish D., Satish C., Drivers' willingness to shift towards electronic toll collection system in India. *Case Studies on Transport Policy*. 2023; 13: 101046. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.101046>

19. Navandar Y.V., Patel D.A., Dhamaniya A., Velmurugan S., Bar Ch. Users perception based service quality analysis at toll plazas using structural equation modeling. *Case Studies on Transport Policy*. 2023; 13: 101053. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.101053>

20. Petrovic A., Delibašić B., Nikolić M., Bugarcic U. Controlling highway toll stations using deep learning, queuing theory, and differential evolution. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. December 2022; 119 (2). <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105683>

## ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Соколов Н.И. Сбор статистических данных, моделирование транспортных потоков.

Шаламова О.А. Разработка методики проведения исследований.

Кочергин В.И. Организация исследований, редактирование материала для статьи.

## COAUTHORS' CONTRIBUTION

Sokolov N.I. Statistical data collection, traffic flow modeling.

Shalamova O.A. Development of research methodology.

Kochergin V.I. Organization of research, article material editing.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Соколов Николай Иванович – аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин» Сибирского государственного университета путей сообщения (630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191).

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0004-9264-8986>,

**e-mail:** [nikolay9947@gmail.com](mailto:nikolay9947@gmail.com)

Шаламова Оксана Александровна – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин» Сибирского государственного университета путей сообщения (630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191).

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3035-4072>,

**SPIN-код:** 3516-6204,

**e-mail:** [oksana.sh73@mail.ru](mailto:oksana.sh73@mail.ru)

Кочергин Виктор Иванович – д-р техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин» Сибирского государственного университета путей сообщения (630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191).

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4883-1458>,

**SPIN-код:** 2949-7253,

**e-mail:** [vkplus2011@yandex.ru](mailto:vkplus2011@yandex.ru)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sokolov Nikolay Ivanovich – Postgraduate Student, Transport Engineering Technology and Machine Operation Department, Siberian Transport University (191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049).

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0004-9264-8986>,

**e-mail:** [nikolay9947@gmail.com](mailto:nikolay9947@gmail.com)

Shalamova Oksana Aleksandrovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Transport Engineering Technology and Machine Operation Department, Siberian Transport University (191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049).

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3035-4072>,

**SPIN-code:** 3516-6204,

**e-mail:** [oksana.sh73@mail.ru](mailto:oksana.sh73@mail.ru)

Kochergin Viktor Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Transport Engineering Technology and Machine Operation, Siberian Transport University (191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049).

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4883-1458>,

**SPIN-code:** 2949-7253,

**e-mail:** [vkplus2011@yandex.ru](mailto:vkplus2011@yandex.ru)