

УДК 33**Разработка предложений по снижению экологической нагрузки от транспортного потока жилого массива на примере г. Лысьвы с использованием имитационного моделирования****Жалко Михаил Евгеньевич**

Кандидат технических наук,
Лысьвенский филиал,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614990, Российская Федерация, Пермь, пр. Комсомольский, 29;
e-mail: mihailz-49@mail.ru

Лепихин Александр Васильевич

Магистрант,
Лысьвенский филиал,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614990, Российская Федерация, Пермь, пр. Комсомольский, 29;
e-mail: mihailz-49@mail.ru

Аннотация

В работе представлено обоснование негативного экологического эффекта, возникающего при затруднении движения автомобильного потока. В исследовании был определен ряд частных задач. В первую очередь был выполнен подбор программного обеспечения, используемого для имитационного моделирования. Результатом стал выбор программного обеспечения Anylogic. Далее с помощью практических наблюдений, статистических данных ГИБДД и подсчета интенсивности движения на основных перекрестках исследуемого города, был выбран наиболее нагруженный участок улично-дорожной сети. Затем была построена модель данного участка с захватом дополнительного перекрестка с целью повышения точности моделирования, большего захвата территории для моделирования и приближения к реальным условиям. Таким образом, в качестве объекта исследования в данной работе выступил участок проспекта Победы, ограниченный перекрестками пересечения проспекта с улицами Чапаева и Металлистов г. Лысьва, Пермского края. В результате изменения ряда параметров математической модели, удалось оптимизировать движения на исследуемых участках путем изменения режимов работы светофоров. Результаты этой оптимизации показали, что можно добиться увеличения пропускной способности участка улично-дорожной сети (УДС), а также снизить среднее время нахождения автомобиля на участках без привлечения дополнительных ресурсов. В общем случае организация предлагаемых решений приведет к улучшению экологического состояния на данном участке и его прилегающих территориях, а также к снижению риска возникновения ДТП.

Для цитирования в научных исследованиях

Жалко М.Е., Лепихин А.В. Разработка предложений по снижению экологической нагрузки от транспортного потока жилого массива на примере г. Лысьвы с использованием имитационного моделирования // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. Том 14. № 7А. С. 182-191.

Ключевые слова

Экологическая безопасность; математическое моделирование; улично-дорожная сеть; транспортный поток; Anylogic; имитационное моделирование; оптимизация движения.

Введение

Автомобильный транспорт оказывает негативное воздействие на окружающую среду сразу по нескольким направлениям. Больше всего от выхлопных газов, испарений и неконтролируемого разлива материалов, используемых в процессе эксплуатации автотранспорта, страдает воздух, вода и почва.

Наиболее приоритетным и подходящим под условия проживания в нашей стране направлением снижения экологического ущерба от автомобильного транспорта является оптимизация дорожного движения. Оптимизация системы управления транспортными потоками позволяет не только снижать негативное воздействие на экологию, но и устранять причину загрязнения- транспортные заторы.

Основная часть

Основными направлениями оптимизации дорожного движения на данный момент являются наращивание уличной сети, расширение проезжей части, восстановление дорожного полотна, организация подземных и надземных дорожных переходов. Необходимо отметить, что эффект от данных решений носит временный характер и не устраняет причину транспортных проблем.

Выходом из сложившейся ситуации является применение имитационного моделирования транспортных потоков с использованием специального программного обеспечения. Имитационное моделирование также позволяет значительно сократить расходы на проведение исследований без ущерба конечному результату.

Таким образом, целью данной работы является построение имитационной модели участка улично-дорожной сети (УДС) города, отвечающей реальным дорожным условиям и выдвижение предложений по оптимизации дорожного движения данного участка на примере участка УДС г. Лысьва.

В связи с поставленной целью требуется решить следующие частные задачи:

- произвести поиск программного обеспечения (ПО) и математических моделей, описывающих процесс движения подвижного состава;
- определить наиболее нагруженные участки в городе;
- смоделировать участок УДС с использованием ПО;
- выдвинуть предложение по оптимизации движения на участке УДС.

Объектом исследования данной работы является транспортный поток на наиболее нагруженном участке УДС.

В качестве предмета исследования выступают методы исследования транспортных потоков.

Актуальность выбранной темы исследования для города Лысьвы обусловлена также отсутствием в тексте муниципальной программы «Развитие транспортной системы Лысьвенского городского округа» каких-либо мероприятий по снижению уровня нагрузки на участках дорожной сети, отличающихся повышенной проходимостью автомобильного транспорта [Администрация Лысьвенского городского округа, 2021, [www...](#)].

Поведение транспортного потока очень нестабильно и обуславливается действием многих факторов. К таким факторам относят в первую очередь сами транспортные средства, дороги (ее состояние, класс, категория), поведение водителей и пешеходов, погодные условия и так далее. Именно поэтому для исследования, анализа, оптимизации и проектирования дорожного движения необходимо прибегать к современным методам моделирования транспортных потоков с использованием специального программного обеспечения.

Математическая модель – это идеальная научная знаковая формальная модель, в которой описание объекта осуществляется на языке математики, а исследование модели проводится с использованием тех или иных математических методов [Цаплин, 2015].

К основным задачам математического моделирования транспортных потоков относят, прежде всего, вычисление и прогнозирование основных параметров транспортного потока. К ним относятся: интенсивность движения транспортных средств, средние скорости движения автомобилей, задержки и потери во времени, а также объемы для грузоперевозок [Маликов, 2013].

Среди отечественного программного обеспечения наибольшей популярностью обладают следующие программы:

- ПК ФП – Экономико-математический институт РАН, ЗАО «Петербургский НИПИГрад»;
- TRANSNET – разработка института системного анализа РАН, Москва;
- ТРИО-СТП – ЗАО «НИПИ ТРТИ»;
- «Дорожный менеджер» – разработка «Малленом Системс», Череповец;
- AnyLogic – разработка российской компании The AnyLogic Company.

Сравнение отечественного программного комплекса с зарубежным ПО показало, что программы сами по себе близки по своей структуре и логике, а результаты моделирования не имеют значительных отклонений. При этом отечественное программное обеспечение имеет ряд преимуществ. К таким преимуществам стоит отнести, прежде всего, доступность для большого числа пользователей в России. Кроме того, графический интерфейс отечественных разработок строился полностью на русском языке, а значит, более понятен для российских специалистов в области моделирования транспортных потоков. Также к преимуществам использования отечественного программного обеспечения стоит отнести наличие технической поддержки. Еще одним достоинством использования отечественных разработок является то, что такие программные пакеты, прежде всего, были созданы под российские условия организации дорожного движения, а значит, наиболее приспособлены к работе в нашей стране [Жанказиев, 2016].

Для проектирования имитационной модели участка УДС была выбрана программа AnyLogic по следующим причинам:

- возможность использования программного языка java для разработки различных имитационных моделей,
- современный дизайн, интуитивно понятный интерфейс.
- низкие требования к производительности персонального компьютера.
- наличие бесплатной версии.

Моделирование транспортных потоков в AnyLogic осуществляется с помощью библиотеки

дорожного движения. Она позволяет детально распланировать, спроектировать и промоделировать транспортные потоки с учетом индивидуального поведения каждого водителя [The Anylogic Company, 2024].

Алгоритмы библиотеки настроены в соответствии с правилами дорожного движения — учет ограничения скорости, «уступи дорогу» и др. В то же время, в моделях дорожного движения каждое транспортное средство представляется в виде агента, который имеет индивидуальные физические параметры и поведенческие шаблоны. К индивидуальным физическим параметрам можно отнести такие параметры как длина, скорость и ускорение. Поведение транспортного средства моделируется с помощью диаграмм процессов, которые легко создавать благодаря функции «drag-and-drop».

Возможности библиотеки позволят решить следующие задачи:

- планирование дорог и автомагистралей;
- оценка загруженности и пропускной способности дорог;
- оптимизация фаз светофоров;
- интеграция общественных зданий в дорожную сеть.

Библиотека дорожного движения совместима с другими библиотеками AnyLogic — библиотекой моделирования процессов, пешеходной библиотекой и железнодорожной библиотекой [The Anylogic Company, 2024].

Кроме того, библиотека дорожного движения включает в себя семь блоков, с помощью которых можно задать сценарии движения потоков машин: CarSource; CarDispose; CarMoveTo; CarEnter; CarExit; TrafficLight, RoadNetworkDescriptor [The Anylogic Company, 2024].

На основе статистических данных Отделения ГИБДД отдела МВД России по Лысьвенскому ГО, в Лысьвенском городском округе можно выделить следующие участки, которые отличаются повышенными автотранспортными потоками:

1. Проспект Победы – является наиболее протяженной улицей в городе. Ее длина составляет 4 км. Наибольшая загруженность наблюдается в местах пересечений с улицами Металлистов и Чапаева. Это связано, прежде всего, с тем, что в этом месте Проспект Победы соединяет спальные районы города с частными секторами. Кроме того, проспект Победы является артерией города, соединяющий ее спальные и частные районы с основными производственными центрами, центрами досуга и отдыха, а также она обеспечивает непосредственную связь между северными и южными районами города.

2. Улица Мира – вторая по протяженности улица в городе. Ее длина составляет 3 км. Наибольшая загруженность наблюдается в местах пересечения с улицами Луначарского, Баженова и Смышляева. Через улицу Луначарского осуществляется связь южных районов города с его центральной частью. Улица Мира соединяет восточную и центральную части города.

На образование автотранспортных заторов существенное влияние оказывает состояние покрытия автомобильных дорог. Плохое состояние дорожного покрытия приводит к ухудшению условий дорожного движения, появлению опасных для водителей вибрации, существенно усложняются условия его работы, т.к. необходимо постоянно изменять скорость движения в зависимости от состояния проезжей части. [Клинковштейн, Афанасьев, 2001; Апталаев, Жалко, 2021].

Для подсчета интенсивности транспортного потока были выбраны следующие перекрестки: пр-к Победы – ул. Металлистов, пр-т Победы – ул. Чапаева. В качестве расчетного периода времени для определения интенсивности движения был принят один час. Подсчет интенсивности транспортного потока проводился по будням в вечерний час пик. [Цаплин, 2015].

По результатам внешнего наблюдения, и статистическим данным ГИБДД можно сделать вывод о том, что пересечение улиц пр-т Победы – ул. Чапаева и пр-к Победы – ул. Metallistov имеют тенденцию к образованию заторов и возникновению ДТП.

Результаты исследования транспортного потока на перекрестке пр-т Победы – ул. Чапаева сведены в таблицу 1. Распределение транспортных потоков на данном перекрестке, представлено на рисунке 1.

Таблица 1 – Характеристики исследуемых транспортных потоков

Перекресток	Направление автомобилей	Состав транспортного потока			Суммарная интенсивность
		Легковые автомобили	Грузовые автомобили	Автобусы	
пр-т Победы – ул. Чапаева	N_{1-2}	50	0	0	50
	N_{1-3}	140	6	0	146
	N_{1-4}	102	0	0	102
	N_{2-1}	50	4	0	54
	N_{2-3}	152	6	8	166
	N_{2-4}	548	20	8	576
	N_{3-1}	158	6	0	164
	N_{3-2}	98	10	6	114
	N_{3-4}	108	12	0	120
	N_{4-1}	92	2	0	94
	N_{4-2}	248	16	4	268
	N_{4-3}	84	4	0	88
	Итого	1830	86	26	1942
пр-т Победы – ул. Metallistov	N_{1-2}	18	0	0	18
	N_{1-3}	24	0	0	24
	N_{1-4}	12	0	0	12
	N_{2-1}	36	0	0	36
	N_{2-3}	90	0	0	90
	N_{2-4}	354	18	12	384
	N_{3-1}	24	0	0	24
	N_{3-2}	150	6	0	156
	N_{3-4}	84	0	0	84
	N_{4-1}	12	0	0	12
	N_{4-2}	450	12	12	474
	N_{4-3}	66	0	0	66
	Итого	1320	36	24	1380

По результатам исследования интенсивности транспортного потока на перекрестке пр-т Победы – ул. Чапаева можно сделать вывод о том, что поток состоит преимущественно из легковых автомобилей, они составляют 94% от общего потока, в то время как грузовые автомобили и автобусы вместе составляют всего 6% от общего потока. Суммарная интенсивность на перекрестке составила – 1942 ед/час.

Согласно картограмме интенсивности наибольшую нагрузку испытывает направление 4. Наиболее нагруженным при этом, является пр-т Победы. Перекресток имеет 32 конфликтные точки. Отличительной чертой данного перекрестка является то, что он соединяет частный сектор города со спальными районами. Кроме того, большая интенсивность движения по проспекту Победы обуславливается тем, что проспект осуществляет связь всего города с градообразующими промышленными предприятиями города.

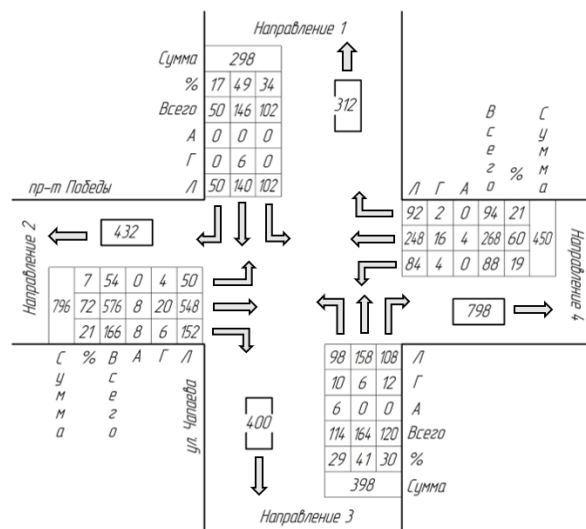


Рисунок 1 – Пространственная картограмма интенсивности транспортного потока на перекрестке пр-т Победы – ул. Чапаева

Распределение транспортного потока по составу, а также интенсивность движения на перекрестке пр-к Победы – ул. Металлистов представлены в таблице 1. Анализируя данные из приложения А, можно заметить, что суммарная интенсивность на перекрестке составила 1380 ед/ч. Тип перекрестка – крестообразный, такой перекресток имеет 32 конфликтные точки.

На рисунке 2 изображена пространственная картограмма интенсивности движения транспортных потоков, из которой можно заметить, что, как и на остальных перекрестках, поток состоит преимущественно из легковых автомобилей, они составили 96% от общего потока. Суммарная интенсивность на перекрестке составила – 1380 ед/ч. Наиболее нагруженным оказался проспект Победы. Наименее нагруженным является направление 1, суммарная интенсивность на нем составила всего 126 ед/ч, это связано с тем, что данное направление является дорогой в частный сектор города. Наиболее нагружено направление 2.

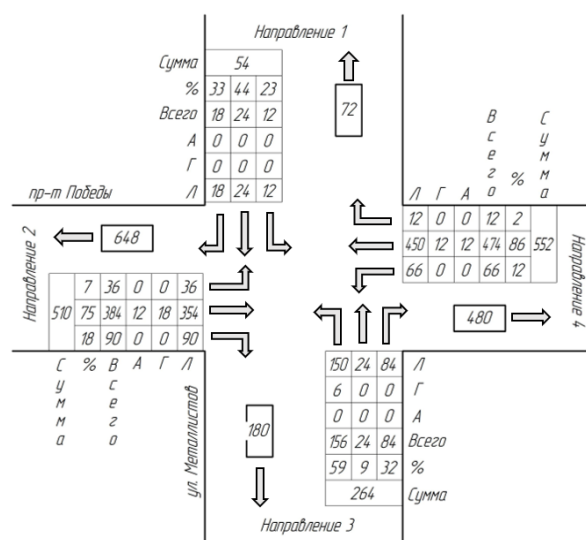


Рисунок 2 – Распределение транспортных потоков на перекрестке пр-к Победы – ул. Металлистов

По результатам анализа табличных данных и картограмм интенсивности движения транспортных потоков, можно сделать вывод о том, что наибольшую интенсивность движения имеет перекресток пр-т Победы – ул. Чапаева. Таким образом, результаты внешнего наблюдения и статистики совпадают с расчетными данными.

Предлагается выполнить построение имитационной модели, включающей в себя перекресток пр-т Победы – ул. Чапаева, отвечающей реальным дорожным условиям.

Кроме того, примыкающий к данному участку перекресток ул. Металлистов – пр-т. Победы имеет среднюю интенсивность движения и будет также участвовать в моделировании участка УДС с целью приближения условий моделирования к реальным, увеличению точности моделирования, большему захвату территории для оптимизации дорожного движения.

Таким образом, объектом для моделирования участка УДС окончательно выбраны два перекрестка: пр-т Победы – ул. Чапаева и пр-т. Победы – ул. Металлистов.

План моделирования участка УДС в программе AnyLogic [Евтушенко, 2020, Лимановская, 2017]:

- 1) Интеграция спутникового снимка местности, изображения проспекта Победы. Моделирование движения по проспекту Победы на север и на юг. Моделирование движения по улице Металлистов в обоих направлениях.
- 2) Изображение улицы Чапаева, образующей перекресток с проспектом Победы. Добавление новых блоков в диаграмму процесса для моделирования движения машин по обоим дорогам в обоих направлениях
- 3) Моделирование движения автобусов. Создание нового типа автомобиля «Bus». Изображение автобусных остановок на обочинах улиц Чапаева и проспекта Победы. Изменение диаграммы процесса для моделирования движения автобусов и их заезда на автобусную остановку.
- 4) Добавление светофоров для регулирования движения на перекрестках с помощью блока «TrafficLight».

Графическое сравнение представлено на рисунке 3 а - (до) и б - (после)

На основании тщательно проведенного исследования участка УДС, включающего в себя проспект Победы, пересекающий улицы Металлистов и Чапаева, и изучении современных методов оптимизации дорожного движения, можно предложить следующие методы оптимизации движения как для исследуемого участка, так и для города в целом [Копытова, 2018]:

- оптимизация режимов работы светофоров;
- установка дополнительных искусственных неровностей;
- повышение качества дорожного покрытия и его сцепных свойств;
- обновление дорожной разметки;
- улучшение работы дорожно-эксплуатационной службы.
- увеличение количества автобусов на общественных маршрутах;
- введение светофорного регулирования по принципу «зеленой волны» по всему проспекту Победы.

Заключение

В ходе проведения исследования выяснилось, что основной причиной загрязнения воздуха выхлопными газами является образование заторов и пробок на дорогах города. Воздействовать на эту проблему можно, прибегнув к математическому моделированию транспортных потоков,

с целью дальнейшей оптимизации дорожного движения. В ходе анализа имеющейся информации был сделан вывод о том, что наиболее современным методом моделирования дорожного движения является метод имитационного моделирования транспортных потоков с использованием специального программного обеспечения.

Реализация предлагаемых решений приведет к улучшению экологического состояния на исследуемом участке и его прилегающих территориях, а также к снижению риска возникновения ДТП. Результаты исследования могут быть использованы на практике администрацией города Лысьвы при дальнейшем анализе дорожной сети, для внесения изменений в муниципальную программу с целью улучшения дорожной обстановки города и снижению вредного воздействия на окружающую среду.

Библиография

1. Anylogic:/ TheAnylogicCompany/ Режим доступа: URL<https://www.anylogic.ru/downloads/> (дата обращения 10.05.2024)
2. Евтушенко А. Е. Исследование работы перекрестка на микроуровне с использованием средств оптимизации в среде Anylogic // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №3(25), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП., 2020 – с. 41-51. РИНЦ.
3. Жанказиев В.С. Имитационное моделирование в проектах ИТС: учебное пособие / С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев, А.В. Шадрин, М.В. Гаврилюк; под ред. д-ра техн. наук, проф. С.В. Жанказиева. – М.: МАДИ, 2016 – 92 с.
4. Кликовштейн Г. И., Афанасьев М. Б. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов.– 5-е изд., перераб. и доп.– М: Транспорт, 2001 – 247 с.
5. Копытова, Ю. В. Методы повышения пропускной способности дорог / Ю. В. Копытова. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2018. — № 5 (191).
6. Лимановская, О. В. Имитационное моделирование в AnyLogic 7. В 2 ч., ч. 1: учебное пособие / О. В. Лимановская. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 152 с.
7. Постановление администрации Лысьвенского городского округа «О внесении изменений в муниципальную программу «Развитие транспортной системы Лысьвенского городского округа», утвержденную постановлением администрации Лысьвенского городского округа от 27.10.2021 № 2340». – 23с.
8. Цаплин А.И. Математические модели движения транспортных средств / А.И. Цаплин. – Перм. нац. исслед. политехн. ун-т. – Пермь, 2015. – 172 с.
9. Апталаев, М. Н. Влияние водно-теплого режима основания автомобильной дороги на состояние дорожной одежды / М. Н. Апталаев, М. Е. Жалко // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2021. – № 1(95). – С. 9-12. – EDN LNEJHP.
10. Маликов, Р. Ф. Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic 6 [Текст]: учеб. пособие / Р. Ф. Маликов. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2013 – 296с.

Development of proposals to reduce the environmental load from the traffic flow of a residential area using simulation modeling in the city of Lysva

Mikhail E. Zhalko

PhD in Technical Sciences,
Lysva branch,

Perm National Research Polytechnic University,
614990, 29, Komsomolsky Ave., Perm, Russian Federation;
e-mail: mihailz-49@mail.ru

Aleksandr V. Lepikhin

Master student,
Lysva branch,
Perm National Research Polytechnic University,
614990, 29, Komsomolsky Ave., Perm, Russian Federation;
e-mail: mihailz-49@mail.ru

Abstract

The paper presents a rationale for the negative environmental impact that occurs when traffic flow is obstructed. A number of specific tasks were identified in the study. First of all, the software used for simulation modeling was selected. The result was the selection of Anylogic software. Then, using practical observations, traffic police statistics and traffic intensity calculations at the main intersections of the city under study, the most congested section of the road network was selected. Then a model of this section was built with the capture of an additional intersection in order to improve the accuracy of modeling, capture more territory for modeling and approach real conditions. Thus, the object of study in this work was a section of Pobedy Avenue, limited by the intersections of the avenue with Chapaeva and Metallistov Streets in Lysva, Perm Krai. As a result of changing a number of parameters of the mathematical model, it was possible to optimize traffic in the studied areas by changing the operating modes of traffic lights. The results of this optimization showed that it is possible to increase the capacity of the road network section, as well as reduce the average time a vehicle spends on the sections without involving additional resources. In general, the organization of the proposed solutions will lead to an improvement in the environmental condition of the section and its adjacent territories, as well as to a reduction in the risk of accidents.

For citation

Zhalko M.E., Lepikhin A.V. (2024) Razrabotka predlozhenii po snizheniyu ekologicheskoi nagruzki ot transportnogo potoka zhilogo massiva na primere g. Lys'vy s ispol'zovaniem imitatsionnogo modelirovaniya [Development of proposals to reduce the environmental load from the traffic flow of a residential area using simulation modeling in the city of Lysva]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 14 (7A), pp. 182-191.

Keywords

Environmental safety; mathematical modeling; street-road network; traffic flow; simulation modeling; traffic optimization.

References

1. Anylogic:/ TheAnylogicCompany/ Access mode: URL<https://www.anylogic.ru/downloads/> (date of access 10.05.2024)
2. Yevtushenko A. E. Study of intersection operation at the micro level using optimization tools in the Anylogic environment // System analysis and logistics: journal.: issue No. 3 (25), ISSN 2007-5687. - St. Petersburg: GUAP., 2020 - pp. 41-51. RINTS.
3. Zhankaziev V.S. Simulation modeling in ITS projects: a tutorial / S.V. Zhankaziev, A.I. Vorobyov, A.V. Shadrin, M.V. Gavriluk; edited by Doctor of Technical Sciences, prof. S.V. Zhankaziev. - Moscow: MADI, 2016 - 92 p.
4. Klinkstein G. I., Afanasyev M. B. Traffic management: Textbook for universities. - 5th ed., revised and enlarged - M: Transport, 2001 - 247 p.
5. Kopytova, Yu. V. Methods for increasing road capacity / Yu. V. Kopytova. - Text: direct // Young scientist. - 2018. - No. 5 (191).

-
6. Limanovskaya, O. V. Simulation modeling in AnyLogic 7. In 2 parts, part 1: tutorial / O. V. Limanovskaya. - Ekaterinburg: Publishing house of the Ural. University, 2017. - 152 p.
 7. Resolution of the Administration of the Lysva Urban District "On Amendments to the Municipal Program "Development of the Transport System of the Lysva Urban District", approved by the Resolution of the Administration of the Lysva Urban District dated October 27, 2021 No. 2340". -23 p.
 8. Tsaplin A.I. Mathematical Models of Vehicle Traffic / A.I. Tsaplin. - Perm. National Research Polytechnic University. - Perm, 2015. - 172 p.
 9. Aptalaev, M.N. Influence of the Water-Heat Regime of the Road Foundation on the Condition of the Road Pavement / M.N. Aptalaev, M.E. Zhalko // Science and Technology in the Road Industry. - 2021. - No. 1 (95). - P. 9-12. - EDN LNEJHP.
 10. Malikov, R. F. Workshop on Simulation Modeling of Complex Systems in AnyLogic 6 [Text]: textbook / R. F. Malikov. - Ufa: Publishing house of BSPU, 2013 - 296 p.