



УДК 656.13

UDC 656.13

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ ЛЕВОПОВОРОТНОГО ДВИЖЕНИЯ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕКРЕСТКАХ: СРАВНИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЗАДЕРЖЕК**

**ANALYSIS OF LEFT-TURN TRAFFIC ORGANIZATION METHODS AT SIGNALIZED INTERSECTIONS: COMPARATIVE MODELING AND DELAY ASSESSMENT**

✉<sup>1</sup> **Лихачев Дмитрий Валерьевич**, к.т.н., доцент кафедры «Организация перевозок и безопасность движения», доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: [lihachev\\_dv@mail.ru](mailto:lihachev_dv@mail.ru)

✉<sup>1</sup> **Likhachev Dmitry Valerievich**, candidate of technical sciences, associate professor, department of transportation organization and traffic safety, associate professor, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: [lihachev\\_dv@mail.ru](mailto:lihachev_dv@mail.ru)

**Дорохин Сергей Владимирович**, д.т.н., декан автомобильного факультета, профессор кафедры «Автомобилей и сервиса», доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

**Dorokhin Sergey Vladimirovich**, doctor of technical sciences, dean of the faculty of automobile engineering, professor of the department of automobiles and service, associate professor, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

**Артемов Александр Юрьевич**, к.т.н., доцент кафедры «Организация перевозок и безопасность движения», Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

**Artemov Alexander Yuryevich**, candidate of technical sciences, associate professor, department of transportation organization and traffic safety, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

**Кораблев Руслан Александрович**, к.с.-х.н., доцент кафедры «Организация перевозок и безопасность движения», Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

**Korablyov Ruslan Aleksandrovich**, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department "Organization of transportation and traffic safety", Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

**Паринов Николай Николаевич**, студент 4 курса специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

**Parinov Nikolay Nikolaevich**, 4th-year student, specializing in 23.05.01 Ground transport and technological vehicles, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

**Аннотация.** В статье исследованы методы организации левоповоротного движения на городских перекрестках. На основе микроскопического моделирования в среде Aimsun проведен сравнительный анализ трех схем с оценкой транспортных задержек. Выявлены недостатки эмпирического подхода к выбору методов и обоснована необходимость использования имитационного моделирования для оптимизации решений.

**Ключевые слова:** ЛЕВОПОВОРОТНОЕ ДВИЖЕНИЕ, РЕГУЛИРУЕМЫЕ ПЕРЕКРЕСТКИ, ТРАНСПОРТНЫЕ ЗАДЕРЖКИ, МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ, СВЕТОФОРНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ, AIMSUN, КОНФЛИКТНЫЕ ТОЧКИ, ОРГАНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ.

**Annotation.** The article investigates methods of organizing left-turn traffic at urban intersections. Based on microscopic modeling in Aimsun, a comparative analysis of three schemes with an assessment of traffic delays is carried out. The shortcomings of the empirical approach to method selection are identified, and the need for simulation modeling to optimize decisions is substantiated.

**Keywords:** LEFT-TURN TRAFFIC, SIGNALIZED INTERSECTIONS, TRAFFIC DELAYS, MICROSCOPIC SIMULATION, TRAFFIC CAPACITY, TRAFFIC SIGNAL CONTROL, AIMSUN, CONFLICT POINTS, TRAFFIC ORGANIZATION.

<sup>1</sup> Автор для ведения переписки

## 1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Современные мегаполисы сталкиваются с парадоксом транспортного развития: рост автомобилизации, призванный повысить мобильность населения, неизбежно приводит к снижению эффективности дорожных сетей из-за увеличения заторов и аварийности. Центральным элементом этой проблемы выступает организация левоповоротного движения, которое, являясь одним из наиболее конфликтных маневров, напрямую влияет на пропускную способность узлов и безопасность участников движения. Левый поворот на перекрестке в одном уровне создает пересечение траекторий с встречным прямонаправленным потоком, генерируя до 32 % всех конфликтных точек на узле [1-3].

Эволюция методов управления транспортными потоками на пересечениях автомобильных дорог и городских улиц отражает постоянный поиск баланса между растущей автомобилизацией и требованиями к безопасности и эффективности дорожного движения. Несмотря на разработанные нормативы по внедрению светофорного регулирования и оптимизации геометрии пересечений сохраняется актуальность исследований, направленных на минимизацию конфликтных точек и задержек, которые непосредственно влияют на аварийность и пропускную способность узлов. Теоретической основой таких изысканий выступают принципы пространственно-временной организации движения, предполагающие разделение траекторий и фазовых циклов для снижения вероятности пересечения потоков [3, 4].

Ключевым элементом повышения эффективности узлов является организация левоповоротного движения, которая в условиях смешанных потоков требует учета стохастических факторов: вариативности интенсивности, различий в динамике транспортных средств (ТС) и поведенческих реакций водителей. Согласно классическим подходам левоповоротные маневры реализуются через три основных сценария [3, 5]:

1. Конфликтное взаимодействие со встречным прямонаправленным потоком, допустимое при низкой интенсивности и ограниченном числе поворачивающих ТС.

2. Метод временной отсечки встречного потока, основанный на фазировке светофорных циклов, позволяющий сократить очередь на подходе за счет смещения стартовой точки маневра к центру перекрестка.

3. Выделение отдельной фазы светофорного регулирования, исключающее конфликты, но увеличивающее длительность цикла.

В нашей стране в основном применяются четыре метода ввода левого поворота:

1. Схемы совмещенного левоповорота в общем потоке. Левоповоротные ТС используют общую полосу с прямонаправленным потоком в рамках одной фазы светофора. Рассматриваемый подход предполагает выполнение левоворотного маневра в рамках общей полосы движения, предназначенной также для следования прямо без выделения для этого отдельного временного интервала в светофорном цикле. Данное решение находит применение в условиях относительно невысокой интенсивности движения, когда количество транспортных средств, намеревающихся повернуть налево, не создает значительных помех сквозному потоку. Функционирование системы основано на предоставлении водителю возможности завершить маневр в промежутке между автомобилями встречного направления, что требует от него самостоятельной оценки безопасного интервала. Конфликт с встречными ТС и пешеходами увеличивают риск ДТП на 25-30 % и снижение пропускной способности прямой полосы на 40 % [1-3, 6]. Основным недостатком данной схемы является повышенный уровень аварийного риска, обусловленный неизбежным пересечением траекторий поворачивающих и встречных транспортных средств. Это приводит к росту количества конфликтных ситуаций, особенно в часы пиковой нагрузки, когда дефицит временных окон для безопасного поворота провоцирует вынужденные остановки в пределах перекрестка. Подобные остановки, в свою очередь, вызывают образование заторов и существенное снижение пропускной способности всей полосы, поскольку движение прямо блокируется ожидающим возможности повернуть транспортом.

2. Схема левоповоротного движения с использованием обособленной полосы в общем цикле регулирования. Данный подход предполагает организацию движения путем выделения для поворачивающих налево транспортных средств отдельной полосы, однако без предоставления им исключительного права проезда за счет отдельной светофорной фазы. Физическое разделение потоков осуществляется лишь на пространственном уровне, в то время как во временном аспекте они остаются совмещенными [1-3, 6, 7]. Несмотря на кажущееся усовершенствование по сравнению с предыдущим методом, данная схема не разрешает ключевую проблему – необходимость пересечения траектории встречного направления. Выделенная полоса лишь формирует организованную очередь для выполнения маневра, но не устраняет фундаментальную зависимость от наличия безопасных интервалов во встречном потоке. Водитель, находясь на специализированной полосе, по-прежнему вынужден проводить сложную оценку скоростного режима и дистанции приближающихся автомобилей, что в условиях интенсивного движения превращается в фактор повышенного риска и неуверенности. Как следствие, сохраняется и основная причина задержек: транспортные средства вынуждены простаивать в ожидании подходящего для поворота момента. Это приводит к закономерному снижению общей эффективности работы перекрестка. Более того, выделение отдельной полосы без соответствующей фазировки может создать ложное ощущение приоритета у отдельных водителей, что лишь усугубляет конфликтность ситуации. Данный метод, решая проблему хаотичного перестроения, оставляет неразрешенным основной конфликт, что ограничивает область его эффективного применения участками с умеренной и стабильной интенсивностью встречного потока.

3. Реализация левоповорота через метод временной отсечки встречного потока. Сущность данного способа организации движения заключается в предоставлении транспортным средствам, намеревающимся совершить левый поворот, возможности аккумулироваться в пределах перекрестка в течение фазы, разрешающей движение встречному направлению [1-3, 6, 7]. Разрешение на начало маневра возникает в момент переключения сигнала для встречного потока на запрещающий (желтый, а затем красный), это теоретически создает временное окно для освобождения перекрестка. Критическим аспектом успешности этой схемы является поведенческая составляющая. Водитель, ожидающий в центре пересечения, вынужден принимать решение в условиях высокой неопределенности: он должен спрогнозировать завершат ли встреч-

ные автомобили движение, оценить достаточность временного интервала и динамические возможности собственного транспортного средства. Отсутствие в отечественной практике однозначного сигнала (аналога мигающей желтой стрелки, используемой за рубежом для обозначения режима уступки) усугубляет эту неопределенность, порождая психологический диссонанс и задержку реакции. Именно эта стартовая задержка, обусловленная необходимостью сложной когнитивной оценки, становится системным недостатком метода. Она приводит к тому, что за отведенное время успевает проехать меньше автомобилей, чем позволяет геометрия узла, снижая практическую пропускную способность. В ситуациях, когда первым в очереди оказывается неопытный или чрезмерно осторожный водитель, эффект "затухания" потока многократно усиливается, провоцируя блокировку перекрестка и возмущения в виде звуковых сигналов сзади стоящего транспорта. Метод, потенциально эффективный для повышения пропускной способности, на практике часто нивелирует свои преимущества из-за факторов человеческого поведения и несовершенства системы информирования участников движения.

4. Организация левого поворота посредством выделенной светофорной фазы. Наиболее радикальный подход к разрешению конфликта левоповоротных и встречных потоков заключается в их полном временном разделении. Для этого в светофорный цикл вводится эксклюзивная фаза, в течение которой движение разрешено исключительно транспортным средствам, выполняющим левый поворот, в то время как всем другим направлениям предписывается остановка. Данный метод гарантированно исключает возможность столкновения с встречным потоком, кардинально повышая безопасность маневра. Подобная направленная оптимизация создает системную проблему на уровне всего перекрестка. Введение дополнительной фазы неизбежно увеличивает общую длительность цикла светофорного регулирования. Каждая секунда, выделенная для левоповоротных автомобилей, изымается из времени, отведенного для движения в иных направлениях. В результате, несмотря на локальное устранение конфликта, совокупная пропускная способность узла может снижаться, а на подходах, не задействованных в левоповороте, формируются вторичныезаторы. Эффективность этого метода резко падает в условиях асимметричной транспортной нагрузки. Если интенсивность левоповоротного потока непостоянна или объективно невысока, выделение для него фиксированного и продолжительного временного окна становится нерациональным. В такие периоды драгоценные секунды зеленого сигнала для специализированной фазы расходуются впустую, в то время как на смежных направлениях нарастают очереди. Таким образом, схема, обеспечивающая максимальную безопасность для одной категории участников движения, может провоцировать значительные потери времени для всех остальных, что требует ее тщательного и ситуационного обоснования [1-3, 6, 7].

Сложность внедрения описанных методов заключается в отсутствии формализованных алгоритмов выбора, базирующихся на результатах объективных полевых измерений и верифицированного компьютерного моделирования. В сложившихся условиях ключевое решение о применении конкретной схемы организации поворота принимается инженером-проектировщиком, опирающимся преимущественно на профессиональный опыт и эмпирические оценки. Подобная зависимость от субъективной интерпретации ситуации формирует значительный проектный риск, следствием которого нередко становится ухудшение показателей безопасности на вводимых в эксплуатацию регулируемых пересечениях.

## 2 Материалы и методы

Основу исследования составило микроскопическое моделирование транспортных потоков с применением программного продукта Aimsun [8], обеспечивающего детальную имитацию поведения отдельных транспортных средств с учетом динамических параметров: смены полос, маневрирования, временных интервалов движения. Инструментарий платформы включает модули для работы с разнородными элементами транспортной инфраструктуры, включая классификацию автомобилей, детекторы фиксации данных, а также объекты управления движением, состояние которых адаптируется в ходе калибровки модели [8].

Моделирование улично-дорожной сети выполнено на основе геоподложки, предварительно разработанной в среде AutoCAD и импортированной в Aimsun [9]. На импортированную схему наносились секции проезжей части с последующим формированием узлов соединения, определением количества полос, их ширины и допустимых направлений движения. Для каждой секции задавались разрешенные маневры, включая повороты и перестроения, что позволило воспроизвести реальную конфигурацию транспортных потоков.

Транспортно-пешеходные потоки интегрировались в модель с учетом данных о часовой интенсивности движения, распределении типов транспортных средств (легковые, грузовые, автобусы) и их маршрутизации. Параметры пешеходной активности включали плотность потока и направления перемещения [6, 9].

Регулирование движения на узлах моделировалось через введение приоритетных правил проезда, установку дорожных знаков («стоп», «уступи дорогу») и настройку светофорных объектов. Для последних определялись длительность цикла, временные интервалы сигналов (зеленый, красный, желтый), а также фазовые переходы. Завершающим этапом стала генерация динамического сценария с запуском эксперимента, созданием репликаций модели и последующим анализом выходных данных [6, 10-14].

### 3 Результаты исследований

Транспортные задержки, определяемые как временные потери, обусловленные снижением скорости движения или вынужденными остановками на узлах улично-дорожной сети (УДС), представляют собой критический показатель эффективности транспортных систем. С позиции теории транспортных потоков задержки формируются при дисбалансе между спросом на перемещение и пропускной способностью инфраструктуры. Длительные задержки, классифицируемые как заторы [15, 16], возникают при превышении интенсивности трафика над предельной пропускной способностью участка. Для количественной оценки совокупных временных потерь в транспортном потоке применяется формула:

$$T_{\Delta} = N_a t_{\Delta} T, \quad (1)$$

где  $N_a$  – приведенная интенсивность потока, авт/ч;  $t_{\Delta}$  – средневзвешенная задержка одного транспортного средства, с;  $T$  – период наблюдения, ч.

Данный подход базируется на принципах микроскопического моделирования, учитывающих стохастические взаимодействия между участниками движения.

Локальные задержки на элементах УДС описываются коэффициентом:

$$K_z = \frac{t_{\phi}}{t_p}, \quad (2)$$

где  $t_p$  – фактическое время прохождения участка (с),  $t_p$  – расчетное время при свободном движении (с).

Для регулируемых перекрестков ключевым фактором является фазировка светофорного цикла. Теоретической основой расчета служит концепция Webster, предполагающая, что при нулевой интенсивности пересекающихся потоков транспортные средства (ТС) преодолевают узел без остановок на разрешающий сигнал. Практическая оценка задержек осуществляется методом дискретных наблюдений, включающим фиксацию количества остановившихся ТС на входе в перекресток с интервалом 15 с в течение 5 минут. Средняя задержка для  $j$ -го направления вычисляется как:

$$t_{\Delta j} = \frac{n_{стj} t_{инт}}{n_{дв}}, \quad (3)$$

где  $n_{\text{ост}}$  – число остановленных ТС за интервал,  $n_{\text{дв}}$  – число ТС, проехавших без остановки,  $t_{\text{инт}}$  – длительность интервала измерений, с. Для минимизации погрешностей данные собираются параллельно двумя наблюдателями: первый фиксирует остановки в 15-секундных интервалах, второй – интенсивность движения в минутных [16].

Согласно нормативным требованиям [1, 2, 15-17] предельно допустимая задержка одного ТС не должна превышать 120 с; ее превышение свидетельствует о переходе системы в заторовый режим. Формирование очередей на подходах к перекресткам связано с явлением насыщения фазы, когда прибывающие в красный интервал ТС не успевают покинуть узел в течение зеленого сигнала. Дополнительными факторами выступают организационные задержки (оплата парковки, проверки), неучтенные в детерминированных моделях.

Рассмотрим три способа организации левоповоротного движения на регулируемых пересечениях городского округа город Воронеж.

Первый подход подразумевает минимальное вмешательство в организацию потоков: маневр налево выполняется из одной полосы с движением прямо в рамках общего разрешающего сигнала светофора. Иллюстрацией данной схемы служит пересечение Ленинского проспекта и улицы Серафимовича, где реализован именно этот принцип.

Второй подход представляет собой промежуточный вариант, при котором для поворачивающих налево выделяется обособленная полоса, однако отдельная светофорная фаза для нее не предусмотрена. Это создает пространственное, но не временное разделение потоков. Практической демонстрацией такой организации движения является перекресток улиц Ленинградской и Брусилова.

Третий, наиболее сложный в технической реализации подход, основан на полном разделении конфликтующих направлений как в пространстве, так и во времени. Для левоповоротного транспорта предусмотрена не только специализированная полоса, но и эксклюзивная фаза светофорного цикла. Данная конфигурация была исследована на примере узла, образованного Бульваром Победы и улицей Антонова-Овсенко.

Моделирование первого подхода организации движения, при котором левый поворот осуществляется из общей полосы, продемонстрировало минимальные временные потери. Средняя величина задержки для транспортных средств, выполняющих данный маневр, составила 6,21 с. за период наблюдения, охватывающий 27 полных светофорных циклов (рис. 1). Этот результат указывает на сравнительно высокую эффективность схемы в условиях конкретной интенсивности и состава потока на исследуемом объекте [6].



Рисунок 1 – Изменение величины задержки транспортных средств, левый поворот осуществляется из общей полосы

Применение второго подхода, с выделением специализированной полосы, но без обособленной фазы, привело к кардинально иным результатам. Проведенное моделирование зафиксировало критический рост задержек. Их среднее значение достигло 373,9 с. (около 6 минут) за 25 циклов, при этом разброс показателей был чрезвычайно велик: от минимальных 127 с. до максимальных 900 с. (15 минут). Такая динамика, представленная на рис. 2, наглядно иллюстрирует нестабильность и низкую пропускную способность данного метода при заданных условиях моделирования [6].



Рисунок 2 – Изменение величины задержки транспортных средств с выделением специализированной полосы, но без обособленной фазы

Анализ третьего способа, предполагающего полное пространственно-временное разделение потоков, выявил значительные, но более системные задержки. Среднее значение за 26 смоделированных циклов составило 308,52 с. (5 минут 14 с.). Экстремальные значения варьировались в диапазоне от 65 до 540 с. (рис. 3). Полученная картина согласуется с теоретическими ожиданиями: введение защищенной фазы устраняет конфликты, но за счет существенного увеличения времени цикла, что приводит к закономерному накоплению транспортных средств и росту времени ожидания, особенно на смежных направлениях [6].



Рисунок 3 – Изменение величины задержки транспортных средств, полное пространственно-временное разделение потоков

#### 4 Обсуждение и заключение

Проведенный анализ выявил системные сложности в функционировании левоповоротных направлений на исследуемых участках дорожной сети, обусловленные несоответствием применяемых схем регулирования актуальным параметрам транспортного потока.

В отечественной практике проектирования перекрестков применяются четыре ключевых метода организации левоповоротного движения, каждый из которых имеет специфические ограничения и области применения. Их выбор часто осуществляется эмпирически, что создает риски снижения безопасности и пропускной способности [18].

В работе мы не провели исследование еще одного способа организации движения левоповоротного потока – «Поворот налево методом «отсечки». Практическая реализация метода отсечки сопряжена с парадоксальным эффектом: несмотря на повышение пропускной способности, возникают стартовые задержки, обусловленные психофизиологическими факторами. Водитель, ожидающий момента для начала маневра, вынужден прогнозировать поведение участников встречного потока, что приводит к временным потерям между разрешающим сигналом и началом движения.

Экспериментальные наблюдения выявили нелинейную зависимость задержек от числа полос. При одной полосе, водители демонстрируют уверенность в выборе временного окна, тогда как увеличение до двух и выше возникает эффект "множественного лидера", когда маневр инициируется только после оценки скорости последнего ТС в каждой из полос. Максимальные задержки фиксируются в ситуациях, когда первым в очереди оказывается неопытный водитель, что подтверждается корреляцией между частотой звуковых сигналов и временем принятия решений. Поведенческая адаптация водителей, регулярно выполняющих маневр на конкретном узле, снижает задержки за счет формирования "паттернов ускорения" – использования минимально допустимых интервалов, соответствующих динамическим возможностям ТС. Однако такая оптимизация индивидуального поведения может провоцировать рост асимметрии в распределении задержек внутри потока, что требует учета в моделях светофорного регулирования.

Проведенное исследование подтвердило, что организация левоповоротного движения остается ключевым фактором, определяющим эффективность и безопасность транспортных узлов в условиях растущей автомобилизации. Критическим порогом, при котором задержки провоцируют коллапс движения, является 55 с. на ТС. На 40 % изученных перекрестков в городах-миллионниках РФ этот показатель превышен, что подтверждает необходимость пересчета светофорных циклов. Результаты подтверждают необходимость оптимизации длительности зеленого интервала для снижения пиковых задержек ниже порога заторового состояния.

Совершенствование организации левоповоротного движения требует комплексного подхода, сочетающего инженерные решения с анализом поведенческих и динамических аспектов, что позволит снизить дисбаланс между пропускной способностью узлов и растущим транспортным спросом.

Зачастую отсутствие четких критериев, основанных на комплексном анализе данных, приводит к субъективности проектных решений. По некоторым данным до 65 % случаев проектировщики выбирают метод, ориентируясь на локальный опыт, а не на моделирование или научно обоснованный подход.

#### Список литературы

1 Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В. В. Сильянов, А. Н. Новиков, С. В. Еремин, А. Г. Шевцова. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва - Орёл - Белгород: Белгородский Государственный Технологический Университет им. В. Г. Шухова, 2024. – 331 с. – ISBN 978-5-361-01336-4. – EDN RRPXZL.

2 Клиновштейн, Г. И. Организация дорожного движения [Текст]: Учеб. для вузов. - 5-е изд., перераб. и доп. / Г. И. Клиновштейн, М. Б. Афанасьев. - М.: Транспорт, 2001. – 247 с.

3 Основы организации дорожного движения : Учебное пособие для студентов направления подготовки 23.03.01 – Технология транспортных процессов / А. Н. Новиков, Л. Е. Кущенко, С. В. Кущенко, А. С. Камбур. – Белгород, Орел: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – 170 с. – ISBN 978-5-361-01162-9. – EDN HWARDO.

4 Зырянов, В. В. Управление дорожным движением и перевозки : монография / В. В. Зырянов; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Ростовский гос. строительный ун-т". – Ростов-на-Дону : Ростовский гос. строительный ун-т, 2012. – 148 с.

5 Highway Capacity Manual: A Guide to Multimodal Mobility Analysis. 6th ed. Transportation Research Board, Washington, D.C., 2016

6 Лихачев, Д. В. Повышение эффективности левоповоротного движения в зоне регулируемого перекрестка: специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лихачев Дмитрий Валерьевич, 2020. – 157 с. – EDNQFMAWP.

7 Новиков, А. Н. Современная оценка проблемы безопасности дорожного движения / А. Н. Новиков, И. А. Новиков, А. Г. Шевцова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – 108 с. – ISBN 978-5-361-00908-4. – EDN VACGFY.

8 Aimsun Version 7.0. (R10631). Copyright (C) 1997-2011 TSS-Transport Simulation Systems.

9 Якимов, М. Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов / М. Р. Якимов: монография. – М. : Логос, 2013. – С. 21-23.

10 Зырянов, В. В. Методы оценки адекватности результатов моделирования / В. В. Зырянов // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 2 (25). – С. 132.

11 Жанказиев, С. В. Интеллектуальные транспортные системы : Учебное пособие / С. В. Жанказиев. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2016. – 120 с.

12 Гусев, В. А. Различные подходы к моделированию транспортных потоков / В. А. Гусев // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – 2014. – № 4. – С. 360-364.

13 Бурлуцкая, А. Г. Параметры для проверки адекватности моделирования / А. Г. Бурлуцкая, Ю. В. Семикопенко, А. Г. Шевцова // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта: сборник статей. - Вып.1. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – С. 279-283.

14 Сильянов, В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В. В. Сильянов. – М. : Транспорт, 1977. – 303 с.

15 Технические средства для организации и безопасности дорожного движения: учебник / С. В. Жанказиев, В. Я. Буйленко, Ю. А. Короткова [и др.]. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Техполиграфцентр", 2022. – 208 с. – ISBN 978-5-94385-198-8. – EDN OVRBFK.

16 Кременец, Ю. А. Технические средства организации дорожного движения [Текст]: Учебник для вузов. / Ю. А. Кременец, М. П. Печеский, М. Б. Афанасьев. - М.: ИКЦ "Академкнига", 2005. – 279 с.

17 Локтионова, А. Г. Пути повышения эффективности управления городскими транспортными потоками / А. Г. Локтионова, А. Н. Новиков, А. Г. Шевцова. – Белгород-Орел : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2024. – 173 с. – ISBN 978-5-361-01415-6. – EDN FXHSCY.

18 Михайлов, А. Ю. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов / А. Ю. Михайлов, И. М. Головных. – Новосибирск: Наука, 2004. – 267 с.

## References

1 Theory of Traffic Flows in Road Design and Traffic Organization / V. V. Silyanov, A. N. Novikov, S. V. Eremin, A. G. Shevtsova. - 2nd edition, revised and supplemented. - Moscow - Orel - Belgorod: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 2024. - 331 p. - ISBN 978-5-361-01336-4. - EDN RRPXZL.

2 Klinkstein, G. I. Traffic Organization [Text]: Textbook for universities. - 5th ed., revised and supplemented / G. I. Klinkstein, M. B. Afanasyev. - M.: Transport, 2001. - 247 p.

3 Fundamentals of Road Traffic Management: A Textbook for Students Majoring in 23.03.01 – Transport Process Technology / A. N. Novikov, L. E. Kushchenko, S. V. Kushchenko, A. S. Kambur. – Belgorod, Orel: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2023. – 170 p. – ISBN 978-5-361-01162-9. – EDN HWARDO.

4 Zyryanov, V. V. Traffic Management and Transportation: A Monograph / V. V. Zyryanov; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher

Professional Education "Rostov State University of Civil Engineering". – Rostov-on-Don: Rostov State University of Civil Engineering, 2012. – 148 p.

5 Highway Capacity Manual: A Guide to Multimodal Mobility Analysis. 6th ed. Transportation Research Board, Washington, D.C., 2016

6 Likhachev, D. V. Improving the efficiency of left-turn traffic in a signalized intersection zone: specialty 05.22.10 "Operation of motor transport": dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Likhachev, Dmitry Valerievich, 2020. - 157 p. - EDNQFMAWP.

7 Novikov, A. N. Modern assessment of the road safety problem / A. N. Novikov, I. A. Novikov, A. G. Shevtsova. - Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2021. - 108 p. - ISBN 978-5-361-00908-4. - EDN VACGFY.

8 Aimsun Version 7.0. (R10631). Copyright (C) 1997-2011 TSS-Transport Simulation Systems.

9 Yakimov, M. R. Transport planning: creating urban transport models / M. R. Yakimov: monograph. - M.: Logos, 2013. - Pp. 21-23.

10 Zyryanov, V. V. Methods for assessing the adequacy of modeling results / V. V. Zyryanov // Engineering Bulletin of the Don. - 2013. - No. 2 (25). - P. 132.

11 Zhankaziev, S. V. Intelligent transport systems: A tutorial / S. V. Zhankaziev. - Moscow: Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI), 2016. - 120 p.

12 Gusev, V. A. Various approaches to modeling traffic flows / V. A. Gusev // Resource and energy efficient technologies in the regional construction complex. - 2014. - No. 4. - P. 360-364.

13 Burlutskaya, A. G. Parameters for checking the adequacy of modeling / A. G. Burlutskaya, Yu. V. Semikopenko, A. G. Shevtsova // Problems of studying systems and means of automobile transport: a collection of articles. - Issue 1. - Tula: Tula State University Publishing House, 2017. - P. 279-283.

14 Silyanov, V. V. Theory of traffic flows in road design and traffic organization / V. V. Silyanov. - Moscow: Transport, 1977. - 303 p.

15 Technical means for the organization and safety of road traffic: a textbook / S. V. Zhankaziev, V. Ya. Builenko, Yu. A. Korotkova [et al.]. - Moscow: Society with Limited Liability Company "Tekhpolygon", 2022. - 208 p. - ISBN 978-5-94385-198-8. - EDN OVRBFK.

16 Kremenets, Yu. A. Technical means of traffic organization [Text]: Textbook for universities. / Yu. A. Kremenets, M. P. Pechersky, M. B. Afanasyev. - Moscow: ITC "Akademkniga", 2005. - 279 p.

17 Loktionova, A. G. Ways to improve the efficiency of urban traffic flow management / A. G. Loktionova, A. N. Novikov, A. G. Shevtsova. - Belgorod-Orel: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Oryol State University named after I.S. Turgenev, 2024. - 173 p. - ISBN 978-5-361-01415-6. – EDN FXHSCY.

18 Mikhailov, A. Yu. Modern trends in the design and reconstruction of city street and road networks / A. Yu. Mikhailov, I. M. Golovnykh. - Novosibirsk: Nauka, 2004. - 267 p.

© Лихачев Д. В., Дорохин С. В., Артемов А. Ю., Кораблев Р. А., Паринов Н. Н., 2026