

Научная статья
УДК 656.1:004.8
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-6-940-951>
EDN: YKUNTI



ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ СКОРОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ПРИМЕРЕ Г. КАЗАНИ

Р.Р. Загидуллин

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
г. Казань, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье рассматривается проблема повышения эффективности и безопасности городских транспортных систем за счет внедрения динамического управления скоростью движения. Актуальность исследования обусловлена необходимостью адаптации параметров движения к изменяющимся дорожным и погодным условиям в реальном времени. Работа анализирует эволюцию от классических систем управления дорожным движением к усовершенствованным системам (УСУДД), интегрированным в интеллектуальные транспортные системы (ИТС). Особое внимание уделяется методам динамического управления скоростью с использованием табло переменной информации (ТПИ) и перспективам внедрения коммуникационных технологий «инфраструктура – транспортное средство» (V2I).

Материалы и методы. Основным методом исследования является имитационное моделирование в Aimsun на примере улично-дорожной сети г. Казани. Было разработано 12 стратегий зонального регулирования скорости (от 20 до 80 км/ч) и проведен их сравнительный анализ методами мезо- и микромоделирования для утреннего пикового периода.

Результаты. Результаты показали, что дифференцированное управление эффективно влияет на параметры потока. Наилучшие результаты продемонстрировала Стратегия С3 (ограничения 80, 60, 60 км/ч по зонам), обеспечив минимальные общие затраты времени (769 253 сек), максимальную среднюю скорость (35,33 км/ч) и пропускную способность (35 566,5 ТС/ч). Стратегии с равномерно низкими ограничениями ухудшили все показатели.

Обсуждение и заключение. Проведенное исследование подтверждает высокую эффективность динамического зонального управления скоростью для оптимизации транспортных потоков в городских условиях. Установлено, что дифференцированное регулирование (а не единое жесткое ограничение) позволяет находить баланс между пропускной способностью, скоростью движения и уровнем загрузки сети. Наилучшие результаты показала Стратегия С3, предполагающая относительно высокие допустимые скорости на магистральных направлениях. В перспективе повышения эффективности управления связано с интеграцией технологий V2I, позволяющих реализовать индивидуальное и непрерывное регулирование скорости для каждого транспортного средства, что приведет к дальнейшей гармонизации транспортного потока и повышению безопасности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: динамическое управление скоростью, транспортный поток, интеллектуальные транспортные системы, имитационное моделирование, Aimsun, усовершенствованная система управления дорожным движением, табло переменной информации, городская транспортная сеть, пропускная способность, зональное регулирование

Статья поступила в редакцию 13.11.2025; одобрена после рецензирования 15.12.2025; принята к публикации 15.12.2025.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

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

Для цитирования: Загидуллин Р.Р. Повышение эффективности дорожного движения динамическим управлением скоростью движения транспортных средств на примере г. Казани // Вестник СибАДИ. 2025. Т. 22, № 6. С. 940-951. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-6-940-951>

© Загидуллин Р.Р., 2025



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-6-940-951>

EDN: YKUNTI

IMPROVING TRAFFIC EFFICIENCY THROUGH DYNAMIC TRAFFIC SPEED CONTROL (KAZAN CASE STUDY)

Ramil R. Zagidullin
Kazan Federal University,
Kazan, Russia

ANNOTATION

Introduction. The article discusses the problem of improving the efficiency and safety of urban transport systems through the introduction of dynamic speed control. The relevance of the study is due to the need to adapt traffic parameters in real time to changing road and weather conditions. The work analyzes the evolution from classical traffic control systems to advanced systems integrated into intelligent transport systems (ITS). Particular attention is paid to dynamic speed control methods using variable information display (VMI) and the prospects for the introduction of infrastructure-vehicle (V2I) communication technologies.

Materials and methods. The main research method is simulation modeling in Aimsun using the example of the Kazan street and road network. 12 strategies for zonal speed control (from 20 to 80 km/h) were developed and their comparative analysis was carried out by means of meso- and micromodeling methods for the morning peak period.

Results. It has been shown that differentiated control has an effective impact on the flow parameters. The best results were demonstrated by the C3 Strategy (limits of 80, 60, 60 km/h by zone), ensuring the minimum total time spent (769,253 seconds), maximum average speed (35.33 km/h) and throughput (35,566.5 T/h). Strategies with uniformly low constraints resulted in deteriorated indicators.

Discussion and conclusion. The conducted research confirms the high efficiency of dynamic zonal speed control for optimizing traffic flows in urban conditions. It has been established that differentiated regulation (rather than a single strict restriction) makes it possible to find a balance between bandwidth, speed of movement and the level of network load. The best results have been shown by the C3 Strategy, which assumes relatively high speed limits on main routes. Further research will provide increased control efficiency associated with the integration of V2I technologies to allow for individual and continuous speed control for each vehicle, which will lead to further harmonization of traffic flow and increased safety.

KEYWORDS: dynamic speed control, traffic flow, intelligent transport systems, simulation modeling, Aimsun, advanced traffic management system, variable information display, urban transport network, capacity, zonal regulation

The article was submitted: November 13, 2025; approved after reviewing: December 16, 2025; accepted for publication: December 19, 2025.

The author has read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the author has no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Zagidullin R.R. Improving traffic efficiency through dynamic traffic speed control (Kazan case study). *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2025; 22 (6): 940-951. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-22-6-940-951>

© Zagidullin Ramil R., 2025



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

ВВЕДЕНИЕ

Рост интенсивности городского движения требует внедрения интеллектуальных систем для повышения безопасности и эффективности транспортных потоков [1, 3, 4]. Одним из ключевых инструментов такой оптимизации является динамическое управление скоростью, адаптирующее режим движения к реальным дорожным условиям [2, 5]. В статье исследуется эффективность различных стратегий зонального регулирования скорости в городской среде на примере сети г. Казани. Цель работы – оценить влияние дифференцированных ограничений скорости на ключевые параметры транспортного потока в пиковый период. Гипотеза исследования – дифференцированное регулирование дорожного движения эффективнее равномерного. Методологической основой исследования выступает имитационное моделирование с использованием программного комплекса Aimsun. Полученные результаты обосновывают практическую значимость внедрения подобных систем в структуру усовершенствованного управления дорожным движением (УСУДД).

В соответствии с общей схемой ИТС включают в себя систему управления и мониторинга, именуемую УСУДД, и систему информирования для пользователей, называемую сокращенно УСИУД (усовершенствованная система информирования участников движения).

Системе УСУДД переданы функции динамического управления характеристиками элементов дорожно-транспортной ситуации и их мониторинга, а «передовой» характер системы обусловлен ее способностью оперировать данными, полученными в реальном времени, адаптированными с помощью оперативно выполненных расчетов по заранее определенным критериям [6, 7].

Хотя в данном случае речь идет больше о дорожной составляющей, необходимо отметить, насколько целесообразно сегодня начинать замену концепции системы дорожного регулирования на концепцию усовершенствованной системы управления мобильностью (УСУМ), которая объединяет в себе данные мониторинга различных транспортных систем и данные, получаемые от пользователей системы УСИУД, способствует оптимизации смешанных перевозок посредством управления пересадочными узлами, в интегрированной форме обеспечивает динамический контроль многофункциональной системы путем

введения «кредитов мобильности», быстрой оплаты проезда с учетом пробок, регулирования движения на выделенных полосах и регулируемых перекрестках, управления въездами в черту города.

Система УСУДД (рисунок 1), в свою очередь, состоит из трех подсистем:

- системы мониторинга;
- системы поддержки принятия решения;
- системы управления.

Система мониторинга, которая может существовать и независимо от установки системы УСУДД, была описана нами в предыдущих главах, где мы проанализировали работу датчиков движения, методы диагностики и прогнозирования, заложенные в функции системы наблюдения [8, 9].

Система УСУДД характеризуется и отличается от обычной системы наблюдения более точным использованием элементов «познавательных способностей» системы и возможностью применять стратегии вмешательства в ситуацию. Действительно, система мониторинга через сеть размещенных датчиков получает информацию об окружающей среде и посредством системы наблюдения применяет простую обработку данных, которые в реальном времени подают информационно-интеллектуальный импульс приложениям ИТС. В то время как система УСУДД основывается на более сложной системе поддержки принятия решений, которая посредством включения имитационной модели способна оценить совокупность стратегий регулирования и позволяет быстро выбрать из них оптимальную стратегию, задействованную через систему регулирования. Этот выбор может быть применен как в автоматическом режиме, так и с помощью оператора, который, в свою очередь, сможет удостовериться в соответствии выбранного решения политике действий, заданной руководящей организацией.

Следует уточнить, что общая схема систем ИТС, проиллюстрированная на рисунке 1, относится к классической системе управления, в основе которой цепь «датчики – обработка данных – исполнительные механизмы», она подсказывает использование того или иного инструмента автоматического регулирования режима системы. В высокотехнологичной системе управления движением, и тем более при контроле за его динамикой, на самом деле регулирование никогда не бывает полностью автоматическим, поскольку его целевой основой является передача указания пользователю.

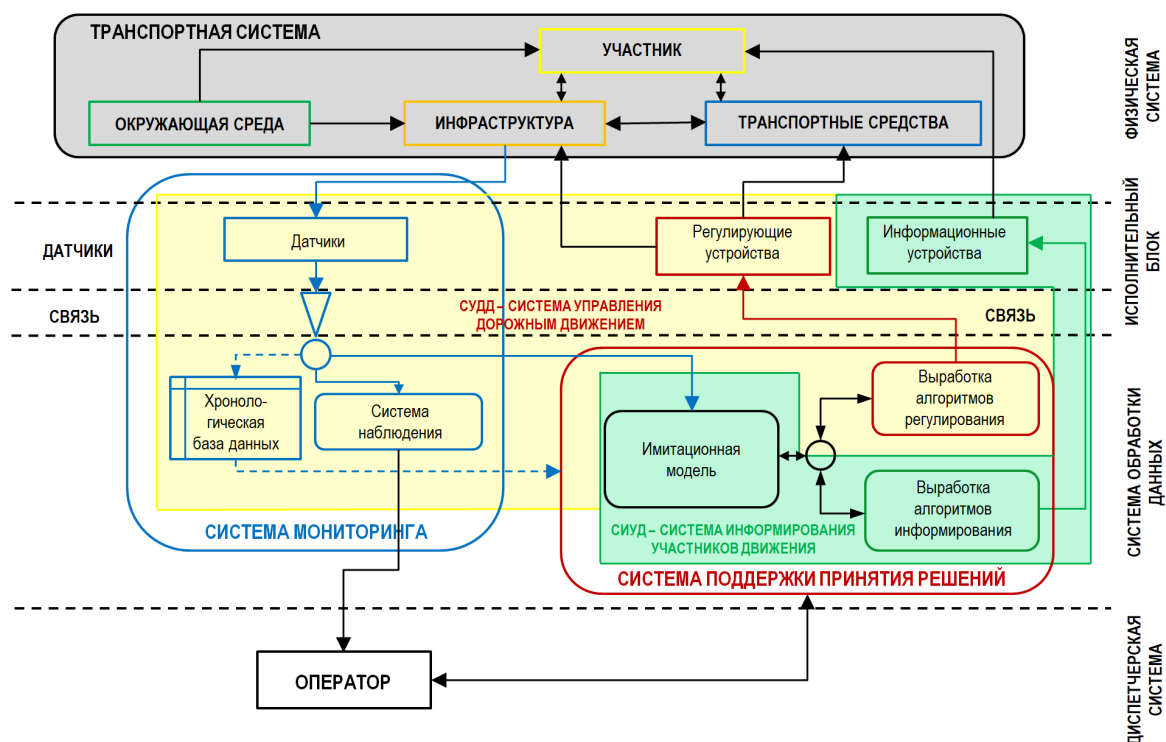


Рисунок 1 – Усовершенствованная система управления движением автотранспорта (УСУДД) в общей схеме ИТС
Источник: составлено автором.

Figure 1 – Improved traffic control system within ITS
Source: compiled by the author.

При традиционном управлении движением автотранспорта, например регулировании посредством светофоров, такая передача указаний, или индикация, носит характер предписания, а случаи неуважительного отношения к индикации случаются редко, а если и бывают, то это можно принять за недостатки в работе системы [14]. Однако существуют и менее жесткие приемы в управлении мобильностью, основанные на применении своего рода экономического рычага, такого как динамическое взимание платы за проезд по загруженной автодороге, в котором автоматизм регулирования еще более ослаблен, поскольку в нем используются альтернативные атрибуты, оказывающие воздействие на водителя. Здесь действие непрямолинейно, и его эффект воздействия логически следует из всего набора решений, принимаемых пользователями, а их результирующая может быть оценена чисто статистически; как бы там ни было, схема контроля может сводиться и к регулированию

по замкнутому циклу, так как оплата за проезд транспорта варьируется с учетом загруженности дорог, а уровень их загруженности зависит от выбора водителей, на который, в свою очередь, как раз и влияет величина взимаемого сбора.

Динамическое управление скоростью может осуществляться с применением табло переменной информации (ТПИ), которые размещаются на обочинах дорог (со знаками ограничения скорости), или с помощью встроенных в автомобиль устройств, которые передают водителю информацию о том, какой скорости следует придерживаться (динамические ограничители скорости), или путем непосредственного регулирования скорости ТС, используя автомат постоянной скорости (так называемый совместный автоматический контроль скорости) [10, 11, 12, 13]. Этот последний из перечисленных типов управления с точки зрения технологичности входит в число передовых систем помощи при вождении (так

называемая система ADAS). Поэтому в данном разделе мы рассмотрим первые два типа средств непрямого (косвенного) управления скоростью и то, как они влияют на ситуацию на дороге, имея в виду, что движение по ней продолжает совершаться в независимой форме (свободная манера управления ТС, свободно образующийся транспортный поток, свободный выбор скорости движения).

К тому же ограничение скорости может иметь еще запретительную (предписывающее регулирование) и рекомендательную (косвенное, информационное регулирование) функции.

Введение варьирующихся ограничений скорости позволяет адаптировать этот параметр дорожного движения к условиям окружающей среды таким образом, чтобы восстановить желаемые условия безопасности движения даже в неблагоприятных погодных условиях, таких как снег, дождь и туман. Система мониторинга должна, очевидно, включать в себя датчики, реагирующие на состояние окружающей среды, и в первую очередь датчики, фиксирующие видимость на дороге и интенсивность выпадающих осадков.

Получение данных о дорожной ситуации, собранных детально и с достаточно высокой точностью, позволяет адаптировать ограничения скорости к дорожной обстановке. В жизни эту задачу самостоятельно решает для себя каждый отдельно взятый водитель, регулируя скорость своего ТС таким образом, чтобы поддерживать нужную дистанцию от впереди идущего автомобиля, которая в его понимании и при той скорости будет не меньше тормозного пути его автомашины в случае экстренного торможения.

У каждого водителя, впрочем, свое понимание степени безопасности, к тому же оно может весьма широко меняться в зависимости от его психофизических особенностей и состояния, и водитель может оценить дистанцию до впереди идущего автомобиля и относительную скорость, не учитывая при этом погрешности оценки, а пределы такой погрешности тоже меняются от одного водителя к другому.

Более эффективное регулирование в ближайшем будущем может быть осуществлено с использованием двунаправленных коммуникационных систем взаимной связи между инфраструктурой и ТС (называемых в современной технической литературе V2I или Vehicle to Infrastructure), которые позволяют системе управления определять скорость каждого отдельного ТС, рассчитывать оптимальную скорость в зависимости от дистанции, отделяю-

щей данный автомобиль от впереди идущего, набранную скорость, характер дорожной обстановки, рабочие параметры автомобиля и условия окружающей среды и передавать все это водителю автомобиля с помощью встроенных средств связи [2].

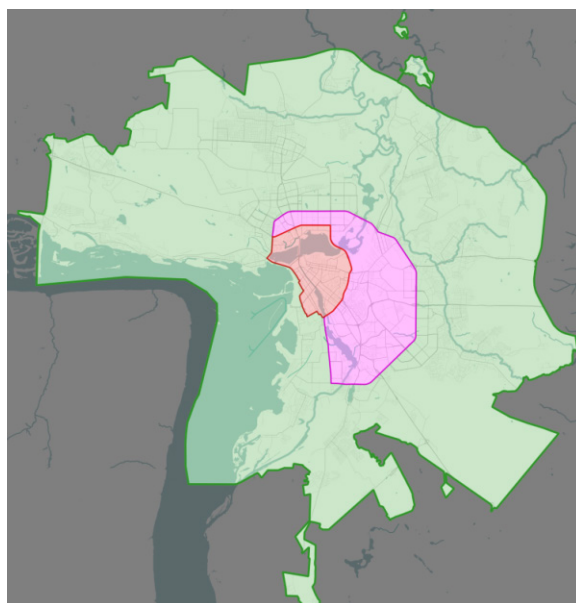
Бортовая двунаправленная коммуникационная система осуществляет таким образом индивидуальный и почти непрерывный контроль во времени и в пространстве. Разнородность движения может постепенно сглаживаться, и поведение транспортного потока (без учета совершаемых маневров для обгона) будет аналогичным движению ТС по автоматической магистрали.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Программа имитационного моделирования Aimsun позволила создать модель улично-дорожной сети с применением технологий подключенной мобильности по схеме деления территории г. Казани на 3 зоны (рисунок 2) с различными комбинациями регулирования скоростного режима по ним, от 80 до 20 км/ч с интервалом в 20 км/ч, учитывающий нормативный коэффициент безопасности, получилось 12 стратегий:

- C1: зеленая – 80 км/ч; розовая – 80 км/ч; красная – 80 км/ч.
- C2: зеленая – 80 км/ч; розовая – 80 км/ч; красная – 60 км/ч.
- C3: зеленая – 80 км/ч; розовая – 60 км/ч; красная – 60 км/ч.
- C4: зеленая – 80 км/ч; розовая – 60 км/ч; красная – 40 км/ч.
- C5: зеленая – 60 км/ч; розовая – 60 км/ч; красная – 60 км/ч.
- C6: зеленая – 60 км/ч; розовая – 60 км/ч; красная – 40 км/ч.
- C7: зеленая – 60 км/ч; розовая – 40 км/ч; красная – 40 км/ч.
- C8: зеленая – 60 км/ч; розовая – 40 км/ч; красная – 20 км/ч.
- C9: зеленая – 40 км/ч; розовая – 40 км/ч; красная – 40 км/ч.
- C10: зеленая – 40 км/ч; розовая – 40 км/ч; красная – 20 км/ч.
- C11: зеленая – 40 км/ч; розовая – 20 км/ч; красная – 20 км/ч.
- C12: зеленая – 20 км/ч; розовая – 20 км/ч; красная – 20 км/ч.

Данная программа предоставляет возможность осуществить не только статистическое, но и динамическое моделирование, что значительно упрощает общее восприятие дорожной ситуации.



а



б

Рисунок 2 – Зонирование территории (а) и зонирование УДС (б) г. Казани
Источник: составлено автором.

Figure 2 – Zoning (a) and street network (б) in Kazan
Source: compiled by the author.

Создана модель улично-дорожной сети (УДС) г. Казани, позволяющая автоматизировать и значительно ускорить процесс обработки информации характеристик транспортного потока, необходимой для проведения оценки сложившейся ситуации [15, 16, 17].

Время разогрева модели составило 15 мин, а непосредственно моделирование выполнялось для утреннего пикового периода с 7:00 до 9:00 ч. Деление на зоны проводилось исходя из сложившейся конфигурации УДС по границам малого и большого казанских колец.

С помощью программы имитационного моделирования Aimsun и получения данных характеристик транспортного потока необходимо выяснить, как влияет зональное регулирование скоростного режима на движение транспортного потока в городских условиях при мезо- и микромоделировании [18, 19, 20].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты комплекса экспериментов методом мезомоделирования на УДС г. Казани

в утренний пиковый период представлены на рисунке 3 и в таблице 1.

Количественный анализ результатов экспериментов мезомоделирования (см. рисунок 3, таблицу 1) показал минимальную среднюю загруженность сети при использовании Стратегии № 1–16,98%, минимальное общее пройденное расстояние в сети при использовании Стратегии № 5 – 696 687 км и минимальные общие затраты времени в сети при использовании Стратегии № 3 – 769 253 сек. Расчетные параметры варьируются следующим образом:

- средняя загруженность сети от 16,98% (С1) до 19,23 % (С12);
- общая дистанция сети от 696 687 км (С5) до 1 525 940 км (С11);
- общие затраты времени в сети от 769 253 сек (С3) до 4 767 200 сек (С12).

Результаты комплекса экспериментов методом микромоделирования на УДС г. Казани в утренний пиковый период (с 7:00 до 9:00) представлены на рисунке 4 и в таблице 2.

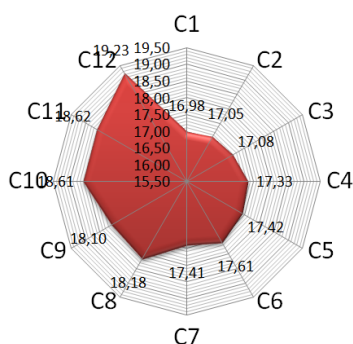
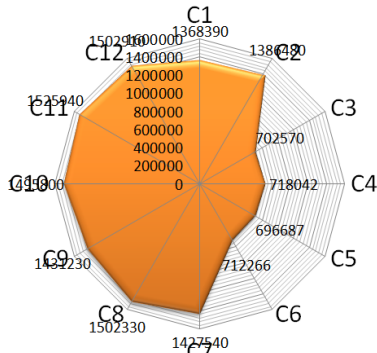
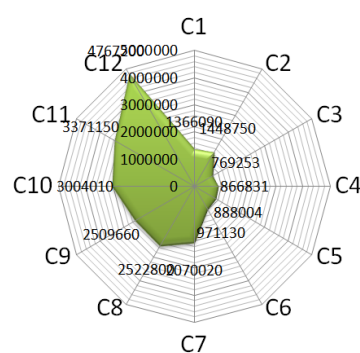
Средняя загрузка сети,
%Общее пройденное
расстояние в сети, кмОбщие затраты сети,
сек

Рисунок 3 – Результаты имитационного мезомоделирования с ТПМ транспортных потоков с регулированием скорости движения
Источник: составлено автором.

Figure 3 – Mesomodeling results for traffic flows with regulated speed
Source: compiled by the author.

Таблица 1
Расчетные параметры эффективности динамического управления скоростью движения ТПМ на основе мезомоделирования
Источник: составлено автором.

Table 1
Design parameters of dynamic traffic speed control efficiency based on mesomodeling
Source: compiled by the author.

Стратегия	Средняя загрузка сети, %	Общая дистанция сети, км	Общие затраты времени в сети, сек
C1	16,98	1368390	1366090
C2	17,05	1386480	1448750
C3	17,08	702570	769253
C4	17,33	718042	866831
C5	17,42	696687	888004
C6	17,61	712266	971130
C7	17,41	1427540	2070020
C8	18,18	1502330	2522800
C9	18,10	1431230	2509660
C10	18,61	1495800	3004010
C11	18,62	1525940	3371150
C12	19,23	1502910	4767200

Таблица 2

Расчетные параметры эффективности динамического управления скоростью движения с ТПМ по результатам микромоделирования
Источник: составлено автором.

Table 2

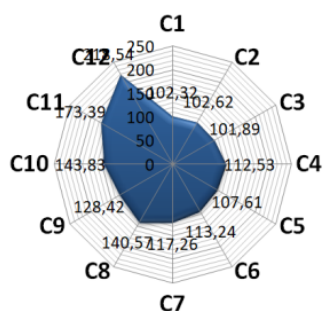
Design parameters of dynamic traffic speed control efficiency based on micromodeling
Source: compiled by the author.

Стратегия	Время проезда, сек/ км	Время задержки, сек/км	Время остановки, сек/км	Средняя скорость, км/ч	Общее время в пути, ч	Общее пройденное расстояние, км	Плотность, ТС/км	Пропускная способность, ТС/ч
C1	102,32	59,72	47,32	35,18	19891,35	773071,1	5,99	32389
C2	102,62	58,13	45,69	35,08	21568,1	830223,7	5,62	34437,5
C3	101,89	53,31	41,98	35,33	22126,58	849642,9	5,48	35566,5
C4	112,53	60,73	49,71	31,99	22029,16	794298,2	6,14	32978,5
C5	107,61	52,29	42,17	33,45	22402,71	818216,08	5,76	34563
C6	113,24	54,56	44,89	31,79	22175,78	789321,1	6,16	32952,5
C7	117,26	50,74	41,87	30,7	22999,76	784994,1	6,26	33306
C8	140,57	65,63	55,9	25,61	25563,2	763158,9	7,19	31754
C9	128,42	48,4	40,97	28,03	22614,8	706718,2	7,11	30402,5
C10	143,83	55	48,19	25,03	23698,45	689463,7	7,65	28897
C11	173,39	61,11	54,98	20,76	25520,88	641249,5	8,52	27665,5
C12	218,54	64,1	60,05	16,47	27347,12	532607,3	9,69	24648,5

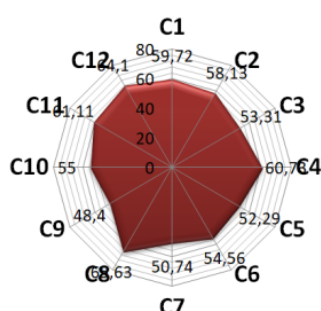
Расчетные параметры варьируются следующим образом:

- время проезда от 101,89 сек/км (C3) до 218,54 сек/км (C12);
- время задержки от 48,4 сек/км (C9) до 65,63 сек/км (C8);
- время остановки от 40,97 сек/км (C9) до 60,05 сек/км (C12);
- средняя скорость от 16,47 км (C12) до 35,33 км/ч (C3);
- общее время в пути от 19891,35 ч (C1) до 27347,12 ч (C12);
- общее пройденное расстояние от 532607,3 км (C12) до 849642,9 км (C3);
- плотность от 5,48 ТС/км (C3) до 9,69 ТС/км (C12);
- пропускная способность сети от 24648,5 ТС/км (C12) до 35566,5 ТС/км (C3).

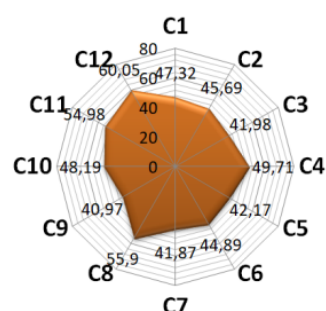
Время проезда, сек/км



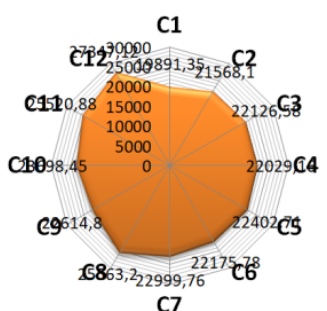
Время задержки, сек/км



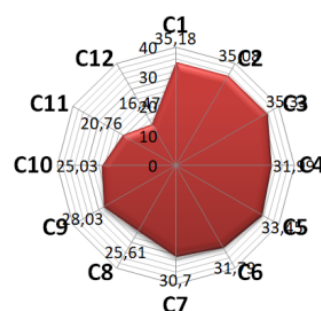
Время остановки, сек/км



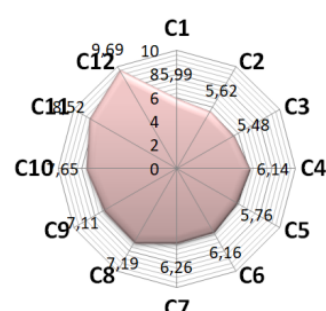
Общее время в пути, ч



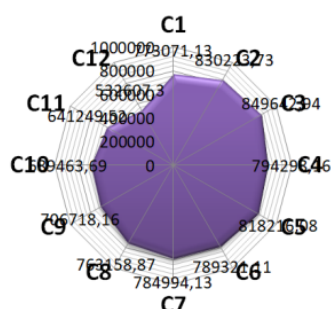
Средняя скорость, км/ч



Плотность, ТС/км



Общее пройденное расстояние, км



Пропускная способность, ТС/ч

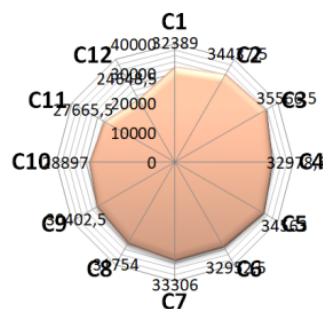


Рисунок 4 – Результаты имитационного микромоделирования с динамическим управлением скорости движения с ТПМ
Источник: составлено автором.

Figure 4 – Micromodeling results for dynamic traffic speed control
Source: compiled by the author.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам экспериментов методом мезомоделирования можно сделать вывод, что применение ТПМ с регулированием скоростного режима в диапазоне от 80 до 20 км/ч с интервалом в 20 км/ч в целом имеет высокую эффективность в отношении снижения продолжительности заторовой ситуации и увеличения пропускной способности для сценария

№ 3 с минимальными общими затратами времени в сети от 769 253 сек.

По результатам экспериментов методом микромоделирования следует, что применение ТПМ с динамическим управлением скоростного режима также имеет высокую эффективность в отношении регулирования параметров транспортного потока и дорожно-транспортной ситуации с возможностью увеличения

пропускной способности в сценарии № 3 с минимальными показателями времени проезда по УДС 101,89 сек/км, плотностью 5,48 ТС/км и с максимальной средней скоростью 35,33 км/ч и пропускной способностью сети 35566,5 ТС/км.

По итогу комплекса экспериментов методами мезомоделирования и микро моделирования выявлены оптимальные стратегии зонального управления скоростным режимом на основе ТПМ. Установлено, что дифференциация скоростей по зонам (стратегия С3: 80/60/60 км/ч) позволяет достичь минимума общих затрат времени в сети и максимума пропускной способности. Наибольшая эффективность работы транспортной сети с применением технологий подключенной мобильности по схеме деления территории г. Казани на 3 зоны достигается в сценарии с комбинацией регулирования скоростного режима, от 80 км/ч в окраинной части, где низкая плотность УДС, 60 км/ч в срединной зоне и центральной части города, где плотность УДС выше.

Дальнейшие исследования будут направлены на выявление зависимости показателей плотности и протяженности УДС, а также частота расположения и тип пересечений на эффективность работы транспортной системы г. Казани.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Андреев Е.О., Жанказиев С.В., Зырянов В.В., Павлов А.С. Развитие архитектуры интеллектуальных транспортных систем // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Т. 18 (1): 38–43. <https://doi.org/10.36724/2072-8735-2024-18-1-38-43>. EDN HNTJMK
2. Булатова О.Ю. Концепция реализации технологии V2X для повышения эффективности дорожного движения // Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 1 (76): 48–53. <https://doi.org/10.33979/2073-7432-2022-76-1-48-53>. EDN YQUROE
3. Булатова О.Ю. Принципы функционирования транспортной инфраструктуры в умных городах // Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 3-1 (78): 73–78. [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2022-1\(78\)-3-73-78](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2022-1(78)-3-73-78). EDN LUOATD
4. Го А. Система управления дорожным движением на основе технологии блокчейн и интернета вещей // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16(10): 28–35. <https://doi.org/10.36724/2072-8735-2022-16-10-28-35>. EDN RIIFVE
5. Грязнов Н.А. Обмен навигационной информацией для оперативного управления дорожным движением // Информатика и автоматизация. 2023. Т. 22(1): 33–56. <https://doi.org/10.15622/ia.22.1.2>. EDN IEWXTF
6. Грязнов М.В., Давыдов К.А. Увеличение скорости сообщения на регулярных автобусных маршрутах // Мир транспорта. 2019. Т. 17, № 6 (85): 202–220. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-202-220>. EDN KRMZMZ
7. Евстигнеев И.А., Шмытинский В.В. Вопросы взаимодействия беспилотных транспортных средств с дорожной инфраструктурой // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2019. № 6 (85): 17–21. EDN QHGUJZ
8. Зырянов В.В., Феофилова А.А., Чулкинов Н.Н. Динамическая маршрутизация транспортных потоков как метод снижения транспортной нагрузки на элементы УДС // Мир транспорта и технологических машин. 2018. № 1 (60): 74–80. EDN XMPWOL
9. Зырянов В.В., Го А., Линник Ю.Н., Кулев М.В. Моделирование гибких скоростных режимов на автомагистралях // Мир транспорта и технологических машин. 2024. № 4-1 (87): 104–111. [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2024-4-1\(87\)-104-111](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-104-111). EDN NCCROE
10. Курбатов Д.С., Старостенко А.В. Инновационные подходы к организации дорожного движения на основе цифровых двойников автомобильных дорог // Вестник СибАДИ. 2025. Т. 22(5): 772–785. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-5-772-785>. EDN ITMNZK
11. Новиков И.А., Шевцова А.Г., Кравченко А.А., Бурлуцкая А.Г. Разработка методики адаптации модели регулируемого пересечения // Вестник СибАДИ. 2020. Т. 17, № 6 (76): 726–735. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-726-735>. EDN IMMDEC
12. Покусаев О.Н., Намиот Д.Е., Чекмарев А.Е. Об управлении трафиком в умном городе // International Journal of Open Information Technologies. 2021. Т. 9, № 5: 66–71. EDN FRMUSZ
13. Солодкий А.И., Евтюков С.С., Черных Н.В. Цифровая трансформация транспортной отрасли Российской Федерации. Перспективы развития // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2024. № 1(76): 91–99. EDN DXSECG
14. Юнг А.А., Шевцова А.Г. Результат оценки характеристик транспортного потока с учетом движения средств индивидуальной мобильности с помощью моделирования участка дорожного движения // Вестник СибАДИ. 2022. Т. 19, № 5 (87): 716–726. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-5-716-726>. EDN RLLOOR
15. Li H., Zhang Ju., Li Yu. [et al.] Modeling and simulation of vehicle group collaboration behaviors in an on-ramp area with a connected vehicle environment // Simulation Modelling Practice and Theory. 2021. Vol. 110: 102332. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2021.102332>. EDN MSKDZT
16. Mahmassani H.S. Dynamic Network Traffic Assignment and Simulation Methodology for Advanced System Management Applications // Networks and Spatial Economics. 2001. № 1(3): 267–292. <https://doi.org/10.1023/A:1012831808926>

17. Niedzielski M.A., S. Goliszek, Górka A. Signals, tracks, and trams: public transport signal priority impact on job accessibility over time // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14, No. 1: 23459. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74960-x>. – EDN GQZJVB

18. Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Modeling of traffic-light signalization depending on the quality of traffic flow in the city // *Journal of Applied Engineering Science*. 2019. T. 17(2): 175-181. <https://doi.org/10.5937/jaes17-18117>. EDN LYETQV

19. Xie N., Dong Ch., Wang H. Coordination of distributed adaptive signal control and advisory speed optimization based on shockwave theory // *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2024. <https://doi.org/10.1111/mice.13364>. EDN ZOUYR

20. Xu Te., Barman S., Levin M. W. [et al.] Integrating public transit signal priority into max-pressure signal control: Methodology and simulation study on a downtown network // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2022. Vol. 138: 103614. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103614>. EDN OCBFIG

REFERENCES

1. Andre E.O., Zhankaziev S.V., Zyryanov V.V., Pavlov A.S. Development of an architectural and engineering communication system. *T-Comm: Telecommunications and transport*. 2024; Vol. 18, No.1: 38-43. <https://doi.org/10.36724/2072-8735-2024-18-1-38-43>. EDN HNTJMK

2. Bulatova O.Y. The concept of implementing V2X communication technology to improve traffic efficiency. *The world of transport and technological machines*. 2022; № 1 (76): 48-53. <https://doi.org/10.33979/2073-7432-2022-76-1-48-53>. EDN YQUROE

3. Bulatova O.Y. Principles of functioning of transport infrastructure in smart cities. *The world of transport and technological machines*. 2022; No. 3-1 (78): 73-78. [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2022-1\(78\)-3-73-78](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2022-1(78)-3-73-78). EDN LUOATD

4. Guo A. Traffic management system based on blockchain technologies and the Internet of Things. *T-Comm: Telecommunications and Transport*. 2022; Vol. 16, No. 10: 28-35. <https://doi.org/10.36724/2072-8735-2022-16-10-28-35>. EDN RIIFVE

5. Gryaznov N.A. Exchange of navigation information for operational traffic management. *Informatics and automation*. 2023; Vol. 22(1): 33-56. <https://doi.org/10.15622/ia.22.1.2>. EDN IEWXTF

6. Gryaznov M.V., Davydov K.A. Increasing the speed of communication on regular bus routes. *World of transport*. 2019; Vol. 17, No. 6 (85): 202-220. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-202-220>. EDN KRMRMZ

7. Evstigneev I.A., Shmytinsky V.V. Issues of interaction of unmanned vehicles with road infrastructure. *Transport of the Russian Federation. A journal about science, practice, and economics*. 2019; № 6 (85): 17-21. EDN QHGUJZ

8. Zyryanov V.V., Feofilova A. A., Chuklinov N. N. Dynamic routing of traffic flows as a method of reduc-

ing the transport load on the elements of the UDS. *The world of transport and technological machines*. 2018; № 1 (60): 74-80. EDN XMPWOL

9. Zyryanov V.V., Guo. Aohua, Linnik Yu.N., Kulev M.V. Modeling of flexible speed modes on motorways. *The world of transport and technological machines*. 2024; № 4-1 (87): 104-111. [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2024-4-1\(87\)-104-111](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-104-111). EDN NCCROE

10. Kurbatov D.S., Starostenko A.V. Innovative approaches to traffic management based on digital highway doubles. *Bulletin of SibADI*. 2025; Vol. 22(5): 772-785. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-5-772-785>. EDN ITMNZK

11. Novikov I.A., Shevtsova A.G., Kravchenko A.A., Burlutskaya A.G. Development of a methodology for adapting the controlled intersection model. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University*. 2020; Vol. 17, No. 6 (76): 726-735. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-726-735>. EDN IMMDEC

12. Pokusaev O.N., Namiot D.E., Chekmarov A.E. On traffic control in a smart city. *International Journal of Open Information Technologies*. 2021; Vol. 9, No. 5: 66-71. EDN FRMUSZ

13. Solodky A.I., Yevtyukov S.S., Chernykh N.V. Digital transformation of the transport industry of the Russian Federation. *Prospects of development. Bulletin of the Moscow Automobile and Highway State Technical University (MADI)*. 2024; № 1(76): 91-99. EDN DXSECG

14. Jung A.A., Shevtsova A.G. The result of assessing the characteristics of the traffic flow, taking into account the movement of means of individual mobility by modeling a section of traffic. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University*. 2022; Vol. 19, No. 5 (87): 716-726. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-5-716-726>. EDN RLLOOR

15. Li H., Y. Zhang, Li Y. [et al.] Modeling the behavior of a group of vehicles when working together in the ramp entrance area with a connected vehicle. *Practice and theory of simulation modeling*. 2021; Volume 110: 102332. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2021.102332>. EDN MSKDZT

16. Mahmassani H.S. Methodology of dynamic network traffic distribution and modeling for advanced system management applications. *Networks and spatial economics*. 2001; № 1(3): 267-292. <https://doi.org/10.1023/A:1012831808926>

17. Nedzelski M.A., Golishek S., Gurka A. Signals, rails and trams: The influence of the priority of public transport signals on the accessibility of workplaces over time. *Scientific reports*. 2024; Volume 14, No. 1: 23459. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74960-x>. EDN GQZJVB

18. Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Modeling of traffic-light signalization depending on the quality of traffic flow in the city. *Journal of Applied Engineering Science*. 2019; T. 17, No 2: 175-181. <https://doi.org/10.5937/jaes17-18117>. EDN LYETQV

19. Xie N., Dong C., Wang H. Coordination of distributed adaptive signal management and recommended speed optimization based on shock wave

theory. *Automated construction of buildings and infrastructure*. 2024. <https://doi.org/10.1111/mice.13364>. EDN ZOUYYR

20. Xu Te., Barman S., Levin M.V. [et al.] Integration of the priority of the public transport signal into the control of the maximum pressure signal: methodology and simulation study of the network in the city center. *Research in the field of transport, part C: New technologies*. 2022. Volume 138: 103614. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103614>. EDN OCBFIG

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Загидуллин Рамиль Равильевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Конструктивно-дизайнерское проектирование», ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Интеллектуальная мобильность» Казанского федерального университета (420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5185-2690>,
SPIN-код: 7207-8758,
Scopus ID: 57193743308,
Researcher ID: E-5671-2018,
e-mail: r.r.zagidullin@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Zagidullin Ramil R. – Cand. of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Structural and Design Engineering, Leading Researcher at the Intelligent Mobility Scientific Research Laboratory, Kazan Federal University (Kremlevskaya str., 18, Kazan, 420008).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5185-2690>,
SPIN-code: 7207-8758,
Scopus ID: 57193743308,
Researcher ID: E-5671-2018,
e-mail: r.r.zagidullin@mail.ru