



**УПРАВЛЕНИЕ ВЫЕЗДНЫМ
ТРАНЗИТОМ ОБЪЕКТОВ
ТРАНСПОРТНОГО ПРИТЯЖЕНИЯ
КАК СЕРВИС МОБИЛЬНОСТИ**

✉¹**Феофилова Анастасия Александровна**
доцент кафедры «Организации перевозок и
дорожного движения», к.т.н., Донской госу-
дарственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, e-mail: feofilowa@mail.ru

Фиалкин Вячеслав Владимирович
ст. преп. кафедры «Организации перевозок и
дорожного движения», к.т.н., Донской госу-
дарственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону

Аннотация.

Рассматривается специализированная подсистема интеллектуальных транспортных систем, осуществляющая управление движением на участках примыкания к объектам притяжения транспортного потока через информирование о месте и времени комфортного ожидания и выезда из этого объекта. Данная подсистема, в свою очередь, рассматривается как система мотивационного управления выездным транзитом с эффективностью использования, оцениваемой с помощью микромоделирования в программе Aimsun.

Ключевые слова: МОТИВАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ, ОБЪЕКТ ТРАНСПОРТНОГО ПРИТЯЖЕНИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ.

¹Автор для ведения переписки

**EXIT TRANSIT CONTROL AT
OBJECTS OF TRAFFIC
ATTRACTION AS A MOBILITY
SERVICE**

✉¹**Feofilova Anastasia Aleksandrovna**
associate professor department of transporta-
tion and traffic management, Phd, Don state
technical university, Rostov-on-Don,
e-mail: feofilowa@mail.ru

Fialkin Vyacheslav Vladimirovich
s. lecturer department of transportation and
traffic management, Don state technical
university, Rostov-on-Don

Abstract.

The specialized subsystem of intellectual transport systems is considered, which controls the movement at the plots of adjustment to the objects of attraction of the traffic flow through informing about the place and time of comfortable expectation and departure from this object. This subsystem, in turn, is considered as a system of motivational management of outbound transit with the efficiency of use, evaluated using micromodeling in the AIMSUN program.

Keywords: MOTIVATIONAL CONTROL, OBJECT OF TRAFFIC ATTRACTION, TRAFFIC SIMULATION.

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Современное развитие транспортной и дорожной инженерии направлено на проектирование универсальных транспортных систем, объединяющих задачи управления мобильностью. Устойчивое развитие территорий невозможно представить без соответствующего транспортного информационного наполнения, включающего в себя сервисы интеллектуальных транспортных систем. Управление транспортным спросом и мобильностью, основанное

на сервисном подходе – будущее транспортных систем, влияющее на качество развития общества. Осознанной перспективой проектов интеллектуальных транспортных систем (ИТС) служит предоставление участникам дорожного движения информации, побуждающей их к определённому действию, результатом чего является пространственное или временное перенаправление транспортных потоков.

Цифровизация общественной жизни формирует новый социальный запрос к транспортной отрасли, предполагающий качественные инфраструктурные и нормативные изменения, позволяющие обеспечивать время в пути как безусловно полезное. Удовлетворение спроса на мобильность обуславливает необходимость исключения задержек транспортных средств не только на сети автомобильных дорог, но и в зонах выезда участников дорожного движения – пользователей объектами транспортного притяжения (ОТП). Так как прерывание требуемой интенсивности движения этих пользователей должно происходить с минимальной нагрузкой на примыкающие городские магистрали, то одним из современных методов организации дорожного движения является управление выездным транзитом. Рассматриваемая система формируется в целях предупреждения снижения пропускной способности автодороги в зоне действия этого объекта и не предназначена для снижения суммарной интенсивности транспортного потока на выезде из объекта. Она обеспечивает только временное перераспределение выездных потоков участников дорожного движения из ОТП и согласование моментов этих выездов в соответствии с текущим (и прогнозным) уровнем загрузки основной магистрали. Данный метод реализуется с помощью системы мотивационного информирования пользователей объекта притяжения транспортных потоков. Регулирование выезда осуществляется на основе предоставления актуальной информации с помощью современных динамических табло [1, 2].

Начало исследований методов управления транспортными потоками на выездах на автомагистраль приходится на 60-е годы XX века, а после 2000-х годов наблюдается их активное развитие в США, Китае, Нидерландах, Греции, Франции, Италии. Научный вклад в развитие указанных методов внесли Papageorgiou M., Papamichail I., Sacone S., Siri S., De Schutter B., Liang X., Horowitz R., Hou Z., Knoop V. L. По данным базы Scopus решения по управлению транспортными потоками на выездах на автомагистраль, отнесенные к инженерной отрасли знаний, составили более 46 %, к информатике – более 22 % [3-14].

Тяготея в своем размещении к магистральным улицам и дорогам, крупные торговые комплексы являются объектами притяжения большого количества посетителей. Недостаточная оценка особенностей функционирования торговых центров приводит к значительному ухудшению условий движения транспорта на прилегающей улично-дорожной сети, образованию заторов.

Также следует отметить, что до 95 % посетителей торговых комплексов пользуются личным транспортом, и задача организации движения к объектам массового тяготения достаточно сложна. А для успешного функционирования и торгового центра и улично-дорожной сети необходимо обеспечить пребывание посетителей требуемой интенсивности с минимальной нагрузкой на городские магистрали [15-18].

2 Материалы и методы

Управление выездным транзитом ОТП ориентировано на пользователя, использует интеллектуальные транспортные системы и приложения интернет вещей, в которых все операторы транспортных услуг, сервисные провайдеры, владельцы транспортной инфраструктуры работают на единой платформе, где происходит предоставление в режиме реального времени информации о дорожном движении. Это обеспечивается координированным функционированием следующих подсистем ИТС (рис. 1):

- подсистема мониторинга параметров транспортного потока;
- подсистема управления муниципальными парковками и мониторинга парковок;
- комплексная транспортная информационная подсистема.

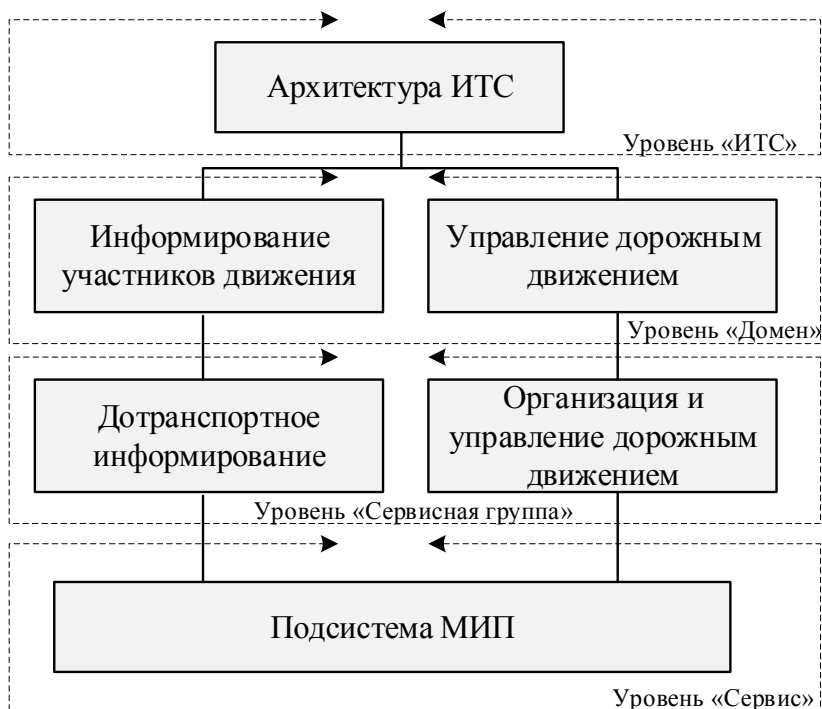


Рисунок 1 – Подсистема мотивационного информирования пользователей в архитектуре ИТС

На первом этапе модуль локального позиционирования определяет факт приезда участника дорожного движения ОТП и передает соответствующее уведомление в модуль управления. Затем пользователь подает запрос на выезд в систему. Этот запрос модифицируется модулем локального позиционирования и с помощью модуля управления отправляется оператору мобильного маркетинга. На основании координированного функционирования подсистем ИТС пользователю сообщается время удобного выезда и место удобного ожидания. Оповещение может происходить путем SMS-информирования, либо с помощью справочного или POS-терминала [1].

3 Результаты исследований

Мотивационное информирование посетителей (МИП) крупного ОТП рекомендуется обеспечивать при выполнении любого из представленных ниже условий функционирования рассматриваемого ОТП:

– расчетное значение максимальной интенсивности выезда из ОТП – $N_{max}^{ОТП}$ составляет величину больше практической пропускной способности одной полосы магистральной дороги:

$$N_{max}^{ОТП} \geq 2000 \text{ легк. авт./ч.}; \quad (1)$$

– коэффициент отношения расчетного значения максимальной интенсивности выезда из ОТП $N_{max}^{ОТП}$ к максимальной фактической интенсивности дорожного движения основной магистрали $N_{max}^{МНД}$ составляет величину более 1/3:

$$k = \frac{N_{max}^{ОТП}}{N_{max}^{МНД}} \geq 0,33. \quad (2)$$

Мотивационное управление целесообразно применять в условиях изменения текущего уровня обслуживания основной магистрали. Эти условия отмечены в таблице 1 цветом.

Таблица 1 – Условия работы подсистемы МИП

№	Уровень обслуживания магистрали	Состояние подсистемы МИП	Комментарии
1	A...C	Выкл.	Управление выездом не требуется. Свободный поток.
2	C → D	Вкл.	Подсистема МИП функционирует
3	D...F	Выкл.	Управление выездом с помощью МИП невозможно. Перенасыщенный поток.
4	D → C	Вкл.	Подсистема МИП функционирует
5	C...A	Выкл.	Управление выездом не требуется. Свободный поток.

Оценить степень применения системы МИП объектов транспортного притяжения возможно с помощью моделирования функционирования улично-дорожной сети на примере крупных торговых комплексов.

В нашей работе мы рассмотрели 13 торговых центров, примыкающих к основным магистралям города Ростова-на-Дону. Схема их расположения представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схема расположения рассматриваемых объектов притяжения транспортного потока

Современные информационные ресурсы позволяют получить графики посещаемости ТЦ таким образом, как показано на рисунке ниже. Получено 98 графиков распределения посещаемости для всех исследуемых объектов притяжения транспортного потока, пример графиков представлен на рисунке 3. Анализ посещаемости объектов притяжения транспортного потока позволил сделать следующие основные выводы: 1) следует выделять пики посещаемости в

определенные часы суток; пики посещаемости в рабочие и выходные дни различаются по времени; 2) объемы посещаемости рассматриваемых объектов в рабочие дни в пиковые часы составляют около 50-70 % от общих объемов посещаемости, в выходные дни – 85-100 %.

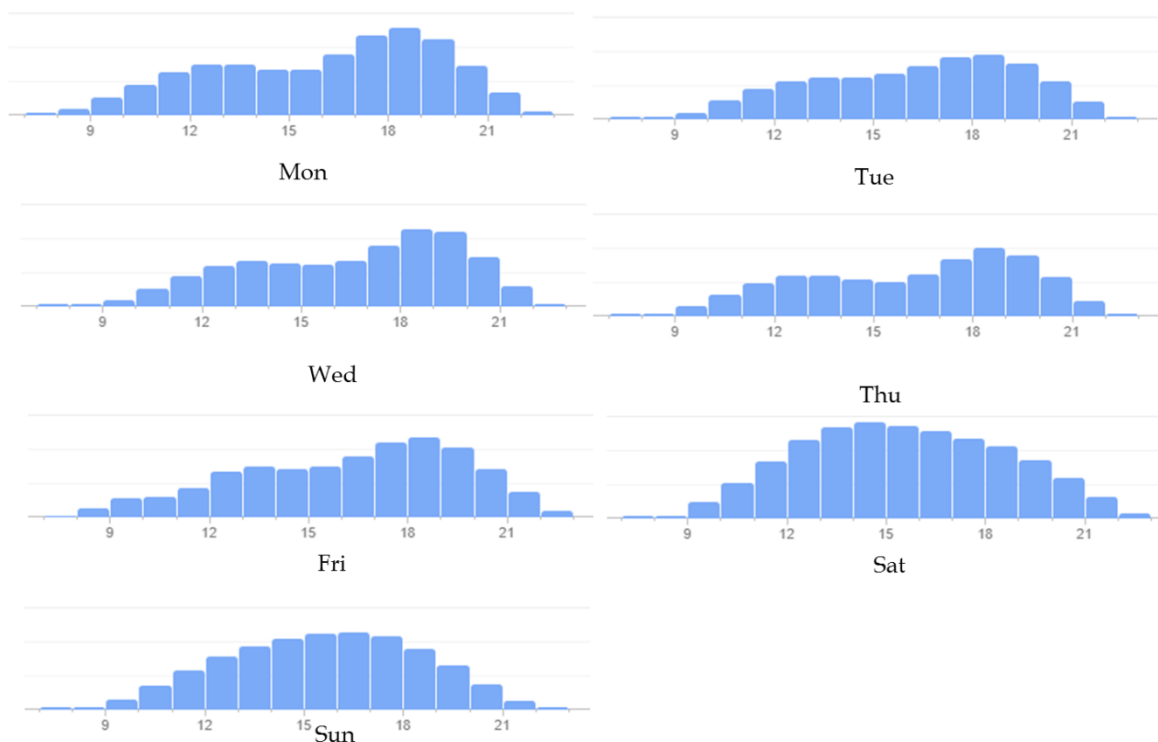


Рисунок 3 – Пример графиков посещаемости объектов притяжения транспортного потока

Следующим этапом нашего исследования стало использование информации о значении коэффициентов загрузки участков дорожной сети, полученной в программе ArcGis. Результаты анализа изменения значений этих коэффициентов показали, что в 2021 году по сравнению с 2010 годом снижение доли участков магистральных улиц общегородского значения г. Ростова-на-Дону с коэффициентом загрузки движением, определяемым по ОДМ 218.2.020-2012, от $0,45 \div 1$. Также отмечается появление участков с коэффициентом загрузки движением более 1.

Пространственный анализ показал, что на территории г. Ростова-на-Дону имеются такие участки улично-дорожной сети (УДС), на которых не произошло изменения уровня обслуживания в 2021 году по сравнению с 2010 годом. Назовём их, условно, участки с «устойчивым» уровнем обслуживания (рис. 4).

Отметим, что общая длина участков с «устойчивым» уровнем обслуживания (LOS) А составила 41 км, с «устойчивым» уровнем обслуживания В – 80 км, с «устойчивым» уровнем обслуживания С – 59 км, с «устойчивым» уровнем обслуживания D – 11 км. Уровень обслуживания Е детектировался на разных, не совпадающих, участках УДС. В 2010 общая длина участков с уровнем Е составила 30 км, в 2021 – 3 км. Уровень обслуживания F введен нами в изучение в 2014 году, общая длина участков с ним составила в 2021 году 7 км.

Помимо относительно «устойчивых» по уровню обслуживания участков УДС отмечаются те участки, где произошло ухудшение условий движения в 2021 году по сравнению с 2010. Значения изменений уровня обслуживания представлено в таблице 2.

Таким образом, изменение условий движения в худшую сторону произошло на 17 % участков УДС г. Ростова-на-Дону, в том числе, вблизи рассматриваемых объектов притяжения транспортного потока. На отдельных таких участках УДС отмечается несоответствие значения коэффициента загрузки движением требованиям нормативных документов (табл. 3).



Рисунок 4 – Схема изменения значений уровня загрузки участков УДС г. Ростова-на-Дону

Таблица 2 – Ухудшение условий движения на участках УДС г. Ростова-на-Дону

Изменение уровня обслуживания	Длина, км
А на В	28
А на С	13
А на В	13
В на С	9
В на D	3
В на F	1
С на D	7
С на F	0.5
Е на F	0.6
Итого	75.1

С помощью моделирования было оценено влияние работы объектов притяжения в пиковые часы их посещения на функционирование прилегающих участков дорожной сети. Результаты моделирования дорожного движения в программе AIMSUN показали, что функционирование прилегающего к объекту притяжения транспортного потока участка УДС определяется как его объемами посещения, так и уровнем обслуживания, определяемым коэффициентом загрузки движением рассматриваемого участка сети. Анализ результатов моделирования представлен в таблице 4.

Для изучения возможности внедрения системы мотивационного въезда на магистраль были сконструированы модели функционирования территории рассматриваемых объектов притяжения транспортного потока. Процесс получения результатов для оценки эффективности системы заключался в следующем: в моделях были созданы триггеры, запускающие и останавливающие функционирование системы по достижению условий, указанных в начале настоящего раздела статьи. Стоит отметить, что специальных инструментов для моделирования мотивационного въезда на магистраль не существует. В связи с чем были адаптированы инструменты и стратегии программы Aimsun [17-20].

Таблица 3 – Значения коэффициента загрузки движением и уровня обслуживания участков дорожной сети вблизи объектов притяжения транспортных потоков в г. Ростове-на-Дону.

№	Наименование объекта притяжения транспортных потоков	Значение коэффициента загрузки движением	Уровень обслуживания прилегающих участков дорожной сети (LOS)
1	ТЦ «Западный»	0,67	C
2	ТЦ «Талер»	0,69	C
3	ТЦ «Рио»	0,75	D
4	ТЦ «Орбита»	0,43	B
5	ТЦ «Метро Александровка»	0,69	C
6	ТЦ «Метро Западный»	0,31	B
7	ТЦ «Магнит»	0,56	B
8	ТЦ «Золотой Вавилон»	1,00	F
9	ТЦ «Аверс»	0,47	C
10	ТЦ «Астор»	0,75	D
11	ТЦ «Восход»	0,74	D
12	ТЦ «Горизонт»	0,65	D
13	ТЦ «Вавилон»	0,72	D

Таблица 4 – Значения коэффициента загрузки движением и уровня обслуживания участков дорожной сети вблизи объектов притяжения транспортных потоков (в пиковые часы их посещения) в г. Ростове-на-Дону

№	Наименование объекта притяжения транспортных потоков	Значение коэффициента загрузки движением	Изменение значения уровня загрузки, %	LOS
1	ТЦ «Западный»	0,97	+30	E
2	ТЦ «Талер»	0,92	+23	E
3	ТЦ «Рио»	0,79	+4	D
4	ТЦ «Орбита»	0,45	+1	C
5	ТЦ «Метро Александровка»	0,72	+3	D
6	ТЦ «Метро Западный»	0,36	+5	B
7	ТЦ «Магнит»	0,65	+10	C
8	ТЦ «Золотой Вавилон»	1,22	+22	F
9	ТЦ «Аверс»	0,49	+3	C
10	ТЦ «Астор»	0,75	+0	D
11	ТЦ «Восход»	0,77	+3	D
12	ТЦ «Горизонт»	0,68	+3	D
13	ТЦ «Вавилон»	0,74	+2	D

Оценивать эффективность внедрения системы решено не только по задержкам транспортных средств, но и по изменению неудовлетворенного транспортного спроса в рассматриваемой сети. Под неудовлетворенным транспортным спросом понимается объем транспортных средств, заявивших в модели дорожного движения свое перемещение, но не совершивших его. Пример оформления результатов показан в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты моделирования

Показатели	Интенсивность на въезде, ед/ч	Заданная в матрице интенсивность на въезде, ед/ч	Неудовлетворенный спрос, ед/ч	Задержки ТС в модели, с	Задержки ТС на въезде, с
Без стратегии	492	1047	555	13,50	34,33
Со стратегией	493	1047	534	4,58	12,71

4 Обсуждение и заключение

Сравнение полученных результатов позволило выделить следующие степени применения системы МИП:

- высокая эффективность – в условиях переходных процессов, связанных с текущим уровнем обслуживания основной магистрали происходит снижение задержек транспортных средств, более чем на 60 % с одновременным снижением уровня неудовлетворенного спроса;
- умеренная эффективность – в условиях переходных процессов, связанных с текущим уровнем обслуживания основной магистрали происходит снижение задержек транспортных средств на 30-60 % с одновременным снижением уровня неудовлетворенного спроса;
- положительная эффективность – снижение задержек транспортных средств происходит без удовлетворения транспортного спроса;
- маркетинговая эффективность – в условиях свободного движения на основной магистрали происходит незначительное снижение задержек транспортных средств.

Таблица 6 – Классификация ОТП по степени влияния на функционирование прилегающей дорожной сети

№	Наименование объекта притяжения ТП	LOS	Изменение задержек при внедрении системы МИП	Неудовлетворенный спрос при внедрении системы МИП	Степень применения системы МИП
1	ТЦ «Западный»	C	-31 %	↓	Эффективна
2	ТЦ «Галер»	C	-68 %	↓	Высоко эффективна
3	ТЦ «Рио»	D	9 %		Рекомендована в маркетинговых целях
4	ТЦ «Орбита»	B	-72 %		Рекомендована
5	ТЦ «Метро Александровка»	C	11 %		Рекомендована в маркетинговых целях
6	ТЦ «Метро Западный»	B	-72 %		Рекомендована
7	ТЦ «Магнит»	B	4 %		Рекомендована в маркетинговых целях
8	ТЦ «Золотой Вавилон»	F	-22 %		Рекомендована
9	ТЦ «Аверс»	C	-40 %	↓	Эффективна
10	ТЦ «Астор»	D	-53 %		Рекомендована
11	ТЦ «Восход»	D	-78 %	↓	Высоко эффективна
12	ТЦ «Горизонт»	D	-23 %		Рекомендована
13	ТЦ «Вавилон»	D	-13 %		Рекомендована

В соответствие с указанной выше классификацией (табл. 6) представлено ранжирование рассматриваемых торговых центров.

В целях предупреждения снижения пропускной способности автомобильных дорог в зонах интенсивного выезда ТС пользователей объектами транспортного притяжения возни-

кает необходимость внедрения мотивационного выезда на магистральную сеть дорог с ОТП.

Мотивационное управление целесообразно применять в условиях ухудшения уровня обслуживания основной магистрали от LOS C к LOS D, и наоборот, от LOS D к LOS C.

Функционирование подсистемы МИП не снижает объемы движения на выезде из ОТП, а лишь обеспечивает временное перераспределение выездного транзита посетителей ОТП и координирование моментов этих выездов на основании значений с текущим (и прогнозным) уровнем загрузки основной магистрали.

Оценить степень применения системы МИП-посетителей крупных торговых комплексов, как примеров ОТП, возможно с помощью моделирования дорожного движения.

Следует выделять пики посещаемости ОТП в определенные часы суток; пики посещаемости в рабочие и выходные дни различаются по времени.

Объемы посещаемости ТЦ в рабочие дни составляют около 50-70 % в пиковые часы, в выходные дни – 85-100 %.

Ранжирование рассмотренных ОТП по степени эффективности внедрения системы МИП показало:

– для ТЦ «Талер» и ТЦ «Восход» система мотивационного въезда на магистраль показывает высокий эффект, то есть в условиях переходных процессов, связанных с текущим уровнем обслуживания основной магистрали, происходит снижение задержек ТС, более чем на 60 % с одновременным снижением уровня неудовлетворенного спроса;

– для ТЦ «Аверс» и ТЦ «Западный» система мотивационного въезда на магистраль показывает умеренный эффект, то есть в условиях переходных процессов, связанных с текущим уровнем обслуживания основной магистрали происходит снижение задержек ТС на 30-60 % с одновременным снижением уровня неудовлетворенного спроса;

– для ТЦ «Орбита», ТЦ «Золотой Вавилон», ТЦ «Метро Западный», ТЦ «Астор», ТЦ «горизонт» и ТЦ «Вавилон» система мотивационного въезда на магистраль показывает положительный эффект, снижение задержек ТС происходит без удовлетворения транспортного спроса;

– для ТЦ «Метро Александровка», ТЦ «РИО» и ТЦ «Магнит» система мотивационного въезда на магистраль вызывает в условиях свободного движения на основной магистрали незначительное снижение задержек ТС и может быть рекомендована в маркетинговых целях как сервисная услуга.

Список литературы

1 Устинов, А. Н.. Разработка методики мотивационного управления выездом на магистраль из объекта транспортного притяжения : диссертация ... канд. техн. наук : 05.22.01 / А. Н. Устинов. – Москва, 2015. – 170 с.

2 Zhankaziev, S. (2017). Current trends of road-traffic infrastructure development. Paper presented at the Transportation Research Procedia, 20 731-739. DOI : 10.1016/j.trpro.2017.01.118.

3 Nan Y., Ramezani M., Hegyi A., Yuan Y., Hoogendoorn S. (2020). Hierarchical ramp metering in freeways : An aggregated modeling and control approach. Transportation Research Part C : Emerging Technologies, 110, 1-19. DOI : 10.1016/j.trc.2019.09.023.

4 Jin P. J., Fang J., Jiang X., DeGaspari M., Walton C. M. (2017). Gap metering for active traffic control at freeway merging sections. Journal of Intelligent Transportation Systems : Technology, Planning, and Operations, 21(1), 1-11. DOI : 10.1080/15472450.2016.1157021.

5 Kan Y., Wang Y., Papageorgiou M., Papamichail I. (2016). Local ramp metering with distant downstream bottlenecks : A comparative study. Transportation Research Part C : Emerging Technologies, 62, 149-170. DOI : 10.1016/j.trc.2015.08.016.

6 Knoop V. L., Taale H., Meulenberg M., Van Erp P. B. C., Hoogendoorn S. P. (2018). Ramp metering with real-time estimation of parameters. Paper presented at the IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, 2018-November 3619-3626. DOI : 10.1109/ITSC.2018.8569808.

- 7 Landman R. L., Hegyi A., Hoogendoorn S. P. (2015). Coordinated ramp metering based on on-ramp saturation time synchronization. DOI : 10.3141/2484-06.
- 8 Li Y., Chow A. H. F., Zhong R. (2019). Control strategies for dynamic motorway traffic subject to flow uncertainties. *Transportmetrica B*, 7(1), 559-575. DOI : 10.1080/21680566.2018.1447410.
- 9 Meshkat A., Zhi M., Vrancken J. L. M., Verbraeck A., Yuan Y., Wang Y. (2015). Coordinated ramp metering with priorities. *IET Intelligent Transport Systems*, 9(6), 639-645. DOI : 10.1049/iet-its.2014.0207.
- 10 Papageorgiou M., Papamichail I., Wang Y. (2019). The role of macroscopic modeling in the simulation, surveillance and control of motorway network traffic. *Transport simulation : Beyond traditional approaches* (pp. 3-26). DOI : 10.1201/9780429093258-1.
- 11 Pasquale C., Sacone S., Siri S. (2019). Stability analysis of controlled freeway traffic systems with different on-ramp configurations. Paper presented at the IFAC-PapersOnLine, 52(6) 13-18. DOI : 10.1016/j.ifacol.2019.08.141.
- 12 Pasquale C., Sacone S., Siri S. (2017). Sustainable ramp metering for freeway traffic control. *Intelligent transport systems (ITS) : Past, present and future directions*. – pp. 201-230.
- 13 Wang L., Abdel-Aty M., Lee J. (2017). Implementation of active traffic management strategies for safety on congested expressway weaving segments. DOI : 10.3141/2635-04.
- 14 Wang X., Qiu T. Z., Niu L., Zhang R., Wang L. (2016). A micro-simulation study on proactive coordinated ramp metering for relieving freeway congestion. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 43(7), 599-608. DOI : 10.1139/cjce-2016-0050.
- 15 Богачев, П. С. Транспортное обслуживание крупных торговых комплексов : дис. ... канд. техн. наук : 18.00.04 / П. С. Богачев. – Москва, 2007. – 185 с.
- 16 Бурков, Д. Г. Методика оценки транспортного спроса к объектам культурно-бытовой направленности на основе количественных характеристик территорий / Д. Г. Бурков // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21. № 1 (120). – С. 218-224.
- 17 Бурков, Д. Г. Особенности оценки транспортного спроса по трудовым, культурно-бытовым и деловым передвижениям / Д. Г. Бурков // Вестник Иркутского Государственного технического университета. – 2015. – № 12. – С.247-253.
- 18 Трофименко Ю. В., Якимов М. Р. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов : монография / Ю. В. Трофименко, М. Р. Якимов. – М. : Логос, 2013. – 464 с.
- 19 Yu H., Auriol J., Krstic M. (2022). Simultaneous downstream and upstream output-feedback stabilization of cascaded freeway traffic. *Automatica*, 136. DOI : 10.1016/j.automatica.2021.110044.
- 20 Zyryanov V. (2019). Simulation network-level relationships of traffic flow. Paper presented at the IOP Conference Series : Materials Science and Engineering, 698(6) DOI : 10.1088/1757-899X/698/6/066049.

References

- 1 Ustinov, A. N. Development of a methodology for motivational management of exit to the highway from the object of transport attraction : dissertation ... cand. tech. Sciences : 05.22.01 / A. N. Ustinov. – Moscow, 2015. – 170 p.
- 2 Zhankaziev, S. (2017). Current trends of road-traffic infrastructure development. Paper presented at the Transportation Research Procedia, 20 731-739. DOI : 10.1016/j.trpro.2017.01.118.
- 3 Han Y., Ramezani M., Hegyi A., Yuan Y., Hoogendoorn S. (2020). Hierarchical ramp metering in freeways : An aggregated modeling and control approach. *Transportation Research Part C : Emerging Technologies*, 110, 1-19. DOI : 10.1016/j.trc.2019.09.023.
- 4 Jin P. J., Fang J., Jiang X., DeGaspari M., Walton C. M. (2017). Gap metering for active

traffic control at freeway merging sections. *Journal of Intelligent Transportation Systems : Technology, Planning, and Operations*, 21(1), 1-11. DOI : 10.1080/15472450.2016.1157021.

5 Kan Y., Wang Y., Papageorgiou M., Papamichail I. (2016). Local ramp metering with distant downstream bottlenecks : A comparative study. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 62, 149-170. DOI : 10.1016/j.trc.2015.08.016.

6 Knoop V. L., Taale H., Meulenberg M., Van Erp P. B. C., Hoogendoorn S. P. (2018). Ramp metering with real-time estimation of parameters. Paper presented at the IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, 2018-November 3619-3626. DOI : 10.1109/ITSC.2018.8569808.

7 Landman R. L., Hegyi A., Hoogendoorn S. P. (2015). Coordinated ramp metering based on on-ramp saturation time synchronization. DOI : 10.3141/2484-06.

8 Li Y., Chow A. H. F., Zhong R. (2019). Control strategies for dynamic motorway traffic are subject to flow uncertainties. *Transportmetrica B*, 7(1), 559-575. DOI : 10.1080/21680566.2018.1447410.

9 Meshkat A., Zhi M., Vrancken J. L. M., Verbraeck A., Yuan Y., Wang Y. (2015). Coordinated ramp metering with priorities. *IET Intelligent Transport Systems*, 9(6), 639-645. DOI : 10.1049/iet-its.2014.0207.

10 Papageorgiou M., Papamichail I., Wang Y. (2019). The role of macroscopic modeling in the simulation, surveillance and control of motorway network traffic. *Transport simulation: Beyond traditional approaches* (pp. 3-26). DOI : 10.1201/9780429093258-1.

11 Pasquale C., Sacone S., Siri S. (2019). Stability analysis of controlled freeway traffic systems with different on-ramp configurations. Paper presented at the IFAC-PapersOnLine, 52(6) 13-18. DOI : 10.1016/j.ifacol.2019.08.141.

12 Pasquale C., Sacone S., Siri S. (2017). Sustainable ramp metering for freeway traffic control. *Intelligent transport systems (ITS) : Past, present and future directions*. – pp. 201-230.

13 Wang L., Abdel-Aty M., Lee J. (2017). Implementation of active traffic management strategies for safety on congested expressway weaving segments. DOI : 10.3141/2635-04.

14 Wang X., Qiu T. Z., Niu L., Zhang R., Wang L. (2016). A micro-simulation study on proactive coordinated ramp metering for relieving freeway congestion. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 43(7), 599-608. DOI : 10.1139/cjce-2016-0050.

15 Bogachev, P. S. *Transport service of large shopping malls : dis. ... cand. tech. Sciences : 18.00.04 / P. S. Bogachev. – Moscow, 2007. – 185 p.*

16 Burkov, D. G. *Methodology for assessing transport demand for objects of cultural and domestic orientation based on the quantitative characteristics of territories / D. G. Burkov // Bulletin of the Irkutsk State Technical University. – 2017. – T. 21. № 1 (120). – S. 218-224.*

17 Burkov, D. G. *Peculiarities of assessing transport demand for labor, cultural, household and business movements / D. G. Burkov // Bulletin of the Irkutsk State Technical University. – 2015. – № 12. – P.247-253.*

18 Trofimenko Yu. V., Yakimov M. R. *Transport planning: formation of efficient transport systems of large cities: monograph / Yu. V. Trofimenko, M. R. Yakimov. – M. : Logos, 2013. – 464 p.*

19 Yu H., Auriol J., Krstic M. (2022). Simultaneous downstream and upstream output-feedback stabilization of cascaded freeway traffic. *Automatica*, 136. DOI : 10.1016/j.automatica.2021.110044.

20 Zyryanov V. (2019). Simulation network-level relationships of traffic flow. Paper presented at the IOP Conference Series : Materials Science and Engineering, 698(6) DOI : 10.1088/1757-899X/698/6/066049.

© Феофилова А.А., Филкин В.В., 2022