

ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ТРУДА

УДК 656.013.08.577

В. Л. Жданов

РАЗРАБОТКА ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА КАК ИСТОЧНИКА НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Высокие темпы урбанизации современного общества приводят к актуализации негативных аспектов функционирования городской инфраструктуры.

Среди них центральное место занимает высокий уровень экологической нагрузки (ЭН) на окружающую среду (ОС), который обусловлен высокой концентрацией антропогенных источников на достаточно ограниченных территориях (крупные города и мегаполисы).

Как известно, все антропогенные источники мегаполиса в первом приближении принято дифференцировать на две большие группы: стационарные и передвижные [1].

К группе стационарных источников относятся предприятия различного назначения, и уровень воздействия на ОС каждого из них определяется его размерами, а номенклатура выбрасываемых вредных веществ зависит от особенностей применяемых технологических процессов. Однако стационарные источники могут быть отделены от селитебных районов города при помощи санитарно-защитных зон, тем самым обеспечивая постоянную изоляцию в пространстве селитебных и промышленных зон друг от друга.

Ко второй группе - передвижным источникам - относятся все составляющие транспортной системы городов, среди которых центральное место объективно занимает автомобильный транспорт. Необходи-

мость постоянного поиска в области оптимизации экологических параметров при функционировании автотранспортной системы города объясняется тем, что невозможно обеспечить изоляцию передвижных источников – в отличие от стационарных – от селитебных районов города.

Особую опасность для ОС эти источники создают тем, что выброс вредных веществ осуществляется на очень небольшой высоте (менее 1 м) в приземном слое воздуха на уровне дыхания человека.

С рассмотренных позиций значительный научный интерес как объекты исследования представляют транспортные потоки (ТП) на городской улично-дорожной сети (УДС), так как с точки зрения степени воздействия на все социальные процессы в обществе и влияния на ОС существенным является, именно, не отдельный автомобиль, а ТП – большая совокупность движущихся автотранспортных средств (АТС). В условиях жестких требований к наносимому экологическому и, следовательно, экономическому ущербу все более значимой становится достоверность описания механизма воздействия ТП на ОС города, что и является целью настоящих исследований.

Для достижения поставленной цели автором предлагается отдельные ТП рассматривать в качестве самостоятельных систем, чье взаимодействие между собой осуществляется на УДС города, имеющей свои парамет-

ры развития. Общий структурный анализ ТП как системы позволит выявить основные характерные особенности и закономерности различных аспектов процесса его функционирования (в частности, аспект воздействия на ОС).

Структурный анализ в первом приближении предполагает обозначение как основных составляющих рассматриваемой системы, так и факторов, влияющих на их состояние, что определяет параметры функционирования системы. При этом нельзя забывать о наличии взаимосвязей и между подсистемами, и между определяющими параметрами их состояния факторами, которые могут как взаимно усиливать влияние друг друга на параметры подсистем (а, значит, и на состояние системы в целом), так и взаимно уравновешивать подобное влияние.

Далее рассматривается возможность не только математической формализации процесса функционирования исследуемой системы, но и деления обозначенных факторов на прямые (оказывающие значительное или непосредственное влияние на параметры функционирования системы) и косвенные (соответственно оказывающие незначительное или опосредованное влияние на названные параметры).

Рассматривая городской ТП как систему, можно констатировать, что потоком называется совокупность АТС, являющихся участниками движения на го-

родской УДС. УДС, по которой перемещаются АТС, в свою очередь, состоит из отдельных элементов со своими специфическими особенностями (переходы различной длины и геометрии, перекрестки различной конфигурации и назначения, площади, мосты, развязки в разных уровнях и т. п.). На эффективность функционирования УДС существенно влияют параметры системы управления движением (дорожные знаки, дорожная разметка, светофоры, ограждающие и направляющие устройства, внедрение автоматизированных систем управления дорожным движением (АСУДД) и т. п.). Поэтому поведение ТП, находящихся в движении на УДС, определяется не только информацией об эксплуатационном состоянии дороги и окружающих автомобилей, но и близостью перекрестка или элемента системы управления движением. Кроме этого, поскольку ТП как система рассматривается с экологической точки зрения, немаловажное значение имеют параметры состояния ОС.

Таким образом, в рассматриваемой системе можно выделить 4 основные составляющие:

- совокупность взаимодействующих между собой АТС;
- УДС, по которой осуществляется движение автомобилей;
- элементы и алгоритмы управления дорожным движением;
- параметры состояния ОС.

Анализ структуры каждой из обозначенных составляющих в отдельности не представляет особой трудности, однако для достоверного описания механизма воздействия ТП на ОС, подобный анализ обязательно должен проводиться в рамках системного подхода и в контексте рассмотрения структурно-функциональных связей между данными составляющими [2].

Используя основные постулаты системного анализа, необходимо подчеркнуть, что при

исследовании процесса функционирования сложной системы со множеством различных структурных и функциональных связей внутри и между ее подсистемами обязательно требуется учитывать свойство эмерджентности исследуемой системы, которое заключается в том, что при своем функционировании вся система в целом может проявлять свойства и способности, отсутствующие у отдельных ее составляющих [2]. Анализ существующих методов оценки уровня ЭН позволяет констатировать, что при моделировании воздействия ТП на ОС его свойством эмерджентности пренебрегают. Это является главной причиной недостаточной достоверности получаемых при подобном моделировании результатов.

В обозначенных рамках наиболее наглядным и информативным представляется метод рассмотрения системы в качестве многоуровневого объекта [3, 4]. На низких уровнях располагаются отдельные элементы системы, которые с учетом их межэлементных связей, а также общности решаемых задач, алгоритмов функционирования и структурных признаков образуют единую подсистему, находящуюся уже на более высоком уровне.

Таким образом, прослеживается иерархическая подчиненность уровней, поскольку особенности межэлементных связей низкого уровня формируются (с учетом внешних действующих факторов) только в рамках задач более высокого уровня. Именно при переходе от низкого уровня к более высокому и, принимая во внимание наличие существенных межуровневых связей, в системе наиболее наглядно проявляется ее свойство эмерджентности.

В то же время при использовании иерархического подхода к системе всегда ставится задача обоснования достаточной глубины дифференциации уровней, руководствуясь, преж-

де всего, двумя требованиями, как правило, противоречащими друг другу – точностью и трудоемкостью описания [2].

Используя представленные тезисы, ТП как объект негативного воздействия на ОС можно представить следующим образом.

Физическую основу ТП составляют отдельные автомобили (совокупность АТС на дороге – первая выделенная составляющая ТП) и особенности режима их движения накладывают непосредственный отпечаток на общий уровень ЭН на ОС от ТП. Поэтому первоначально необходимо определить факторы, формирующие эти особенности.

Известно, что автомобиль представляет собой часть объективно существующей единой системы «Водитель – Автомобиль – Дорога – Среда» (ВАДС) [3,4]. Тогда особенности состояния автомобиля в данный момент времени есть результат действия межэлементных связей в системе ВАДС и ТП – это совокупность взаимодействующих между собой единичных систем ВАДС как его элементов. Соответственно, поиск указанных факторов следует вести в рамках изучения структурных и функциональных связей в системе ВАДС.

Характеристики движения автомобиля в произвольный момент времени есть совокупный результат управляющих воздействий со стороны водителя.

Такая высокая степень единства межэлементных связей в подсистеме «Водитель – Автомобиль» говорит о том, что в контексте описания механизма воздействия ТП на ОС параметры состояния автомобиля необходимо рассматривать в неразрывном соотношении с существующими параметрами управляющего элемента «Водитель». В общем случае формирование обозначенных параметров осуществляется тем, что водитель

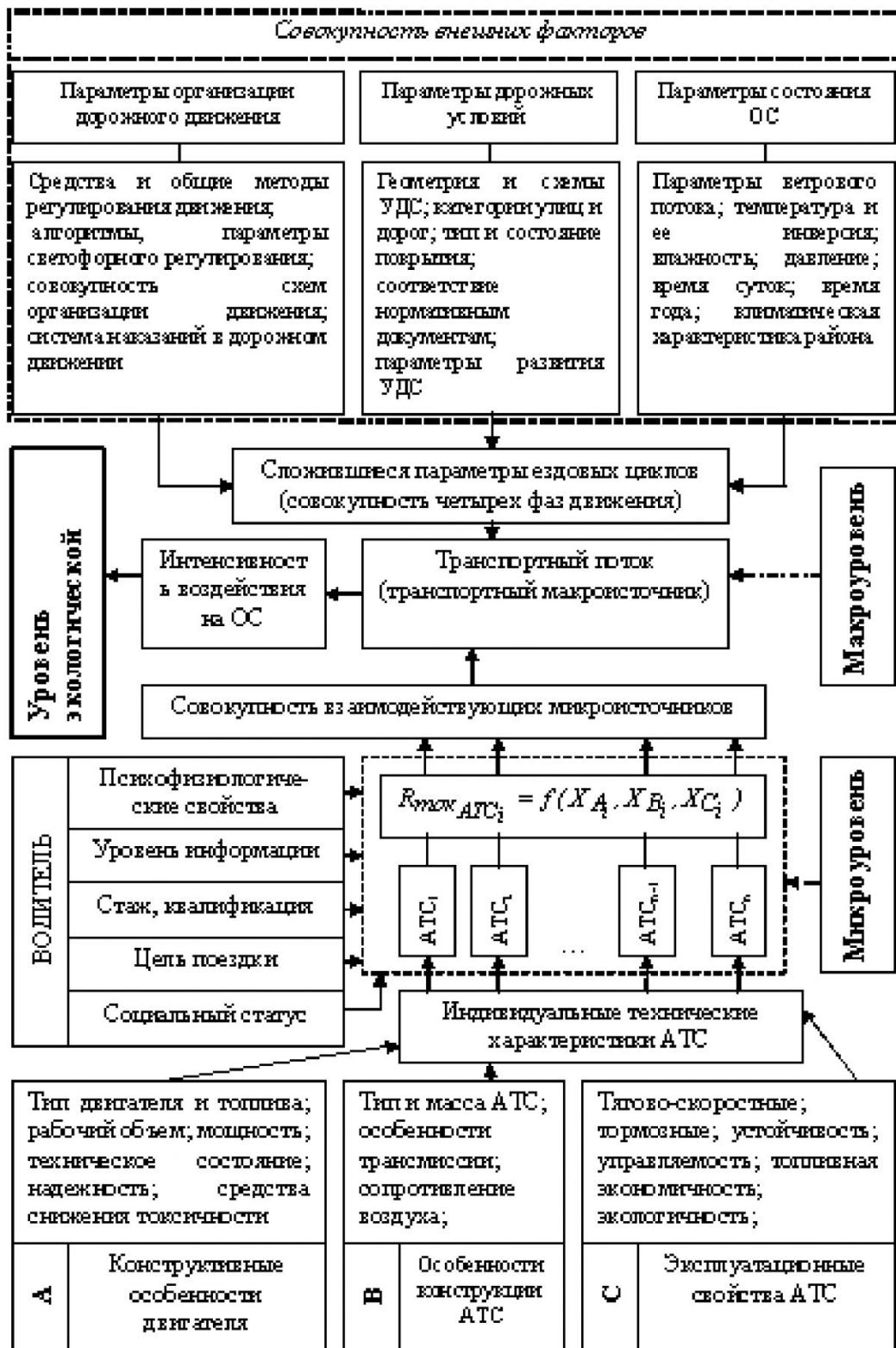


Рис. 1. Схема транспортного потока как источника воздействия на ОС

определенного автомобиля внутри исследуемого ТП оценивает степень сложности внешних по отношению к потоку факторов и условий движения. На основе этой оценки он про-

гнозирует возможное развитие сложившейся к данному моменту дорожно-транспортной ситуации (ДТС) и, учитывая уровень динамических характеристик своего автомобиля, прини-

мает решение о совершении тех или иных действий по рациональному в таких условиях управлению движением автомобиля. Действие межэлементных связей в подсистеме «Во-

дитель – Автомобиль» проявляется в том, что на характер принятых решений существенным образом влияют субъективные особенности водителя.

Обобщая данные о входных параметрах в разработанных к настоящему времени моделях принятия решения водителем в той или иной ДТС [4 - 6], можно выделить следующие основные факторы водителя, определяющие характер его управляющих воздействий на автомобиль:

- психофизиологические особенности человека как водителя, действие которых в комплексе определяет главную характеристику механизма принятия решения – динамику протекания всех психических и сенсомоторных процессов;
- уровень априорной и апостериорной информации в памяти водителя, которая способствует более глубокому пониманию закономерностей дорожного движения;
- стаж и квалификация водителя, определяемая уровнем выработанных навыков вождения в различных условиях движения, повышают адекватность выполняемых действий по управлению автомобилем в сложившейся к данному моменту ДТС;
- цель поездки – определяет стратегию и тактику осуществления транспортной корреспонденции, что находит свое отражение в применяемых методах вождения;
- социальный статус водителя – накладывает существенный отпечаток на поведение автомобиля в ТП.

С позиции рассмотрения автомобиля сугубо в рамках подсистемы «Водитель – Автомобиль» можно выделить следующие основные группы его свойств, учитываемые водителем при выборе рационального режима движения [7]:

- конструктивные особенности автомобиля в целом (тип и масса автомобиля, трансмиссия, форма кузова, сила сопротивления воздуха и т. д.);

- конструктивные особенности двигателя (тип, применяемое топливо, рабочий объем, мощность, особенности камеры сгорания, техническое состояние, средства снижения токсичности и т. д.);

- эксплуатационные свойства АТС (тягово-скоростные, тормозные, устойчивость, управляемость, маневренность, динамичность, топливная экономичность, эргономичность и т. д.).

Данные группы свойств в совокупности образуют индивидуальные технические характеристики АТС.

Рассмотренные положения позволяют сделать вывод о том, что совокупность взаимодействующих подсистем «Водитель – Автомобиль» с их индивидуальными характеристиками образуют внутреннюю структуру ТП как объекта негативного воздействия на ОС. В таком случае остальные выделенные составляющие ТП как системы (параметры состояния ОС, параметры дорожных условий, параметры организации движения) могут быть представлены в качестве внешних факторов, воздействие которых на ТП формируют макрохарактеристики его функционирования (в частности, уровень его ЭН на ОС).

Современные исследования показывают [4, 8, 9], что параметры состояния ОС рассматриваются объективно заданными, они влияют на характеристики других составляющих и их количественные значения определяют интенсивность воздействия на процесс формирования уровня экологической нагрузки ТП. Среди главных к таким параметрам относятся: характеристика климатического района, время года, давление, влажность, температура и температурная инверсия, параметры розы ветров, направление ветра, его порывистость и скорость. Параметры дорожных условий оказывают влияние не только на степень количествен-

ной обеспеченности ТП дорогами, но и на качественное соответствие этих дорог параметрам движения, определяющим его высокую эффективность. В качестве таких параметров выделяют: параметры развития УДС (плотность и удельная плотность УДС, коэффициент нелинейности, геометрические схемы УДС), геометрические характеристики и категории улиц и дорог, тип и эксплуатационное состояние дорожного покрытия, а также соответствие перечисленных параметров требованиям нормативных документов (ГОСТ, СНиП, ВСН и т. п.).

Параметры организации дорожного движения (ОДД) могут быть рассмотрены как комплекс внешних управляющих воздействий на систему ТП с целью количественного снижения их энтропии как меры неупорядоченности движения. Комплекс таких управляющих воздействий в общем случае составляют: методы и средства регулирования дорожного движения, использование приоритетов в движении различного вида, способ, алгоритмы и параметры светофорного регулирования, система наказаний за нарушения.

Таким образом, интегральное действие всех перечисленных внешних факторов в совокупности определяют сложность сложившихся параметров ездовых циклов ТП, а это, в конечном счете, и формирует степень износа автомобилей и дорог, производительность и экономическую эффективность транспортного процесса и, главное, уровень ЭН ТП на ОС. При этом, принимая во внимание, что названное внешнее воздействие осуществляется на ТП со своей внутренней структурой, для которой определены структурные и функциональные связи, на выходе можно получить количественную оценку эффективности различных сторон дорожно-транспортного комплекса (в частности, интен-

сивности его воздействия на ОС).

Систематизация рассмотренных положений позволяет разработать общую иерархическую схему ТП как источника негативного воздействия на ОС, в которой четко прослеживается наличие двух иерархических уровней.

Первый уровень формируется индивидуальными техническими характеристиками автомобилей, составляющих исследуемый ТП с учетом наличия межэлементных связей в подсистеме «Водитель – Автомобиль» (микроуровень).

Как следствие, на микроуровне данные технические характеристики в процессе движения оказывают непосредственное влияние на формирование индивидуальных токсических характеристик автомобилей как отдельных микроисточников в ТП.

В свою очередь, совокупное влияние внешних составляющих дорожно-транспортной системы определяет степень взаимодействия отдельных микроисточников, формируя тем самым особые экологические характеристики ТП как единого объекта воздействия на ОС (макроуровень).

Таким образом, принципиальная схема ТП как источника негативного воздействия на ОС с учетом выделенных иерархических уровней в графическом виде представлена на рис. 1.

Полученная на рис. 1 схема говорит о том, что, принимая во внимание иерархическую подчиненность выделенных в ТП, для того, чтобы определить величину ЭН транспортных макроисточников, необходимо первоначально выявить характер индивидуальных токсических характеристик отдельных микроисточников ($R_{\text{ток}}(\text{ATC})$ на рис. 1).

Названные токсические характеристики логичнее всего искать в рамках энергозэкологического баланса автомобиля, который в своей структуре увяз-

Таблица 1. Параметры развития крупнейших мегаполисов мира

Мегаполис	Плотность населения, тыс. чел/км ²	Число автомобилей, ATC/тыс.чел	Плотность УДС, км/км ²	Плотность автомобилей, ATC/км ²
Нью-Йорк	9,2	345,0	13,3	3174,0
Монреаль	3,5	337,0	4,4	1179,5
Лондон	4,2	253,0	8,0	1062,6
Гамбург	2,1	400,0	5,2	840,0
Париж	5,2	350,0	4,7	1820,0
Москва	8,5	163,0	4,0	1385,5

зывает все составляющие для получения энергии в процессе управления и движения автомобиля с направлениями потребления данной энергии при выполнении автомобилем заданной транспортной работы, неотъемлемой частью которых являются токсические характеристики автомобиля [3].

Если обозначить через $X = \{X_A, X_B, X_C\}$ - совокупный вектор исходных переменных токсической характеристики ATC (где X_A – вектор переменных, определяемых конструктивными особенностями двигателя; X_B – вектор переменных, определяемых конструктивными особенностями автомобиля в целом; X_C – вектор переменных, определяемых эксплуатационными свойствами автомобиля), а через $R_{\text{ток}}(\text{ATC})$ – вектор выходных характеристик, тогда задача нахождения токсических характеристик автомобиля в рамках энергозэкологического баланса состоит в выявлении характера и описании функциональной зависимости, то есть $R_{\text{ток}}(\text{ATC}) = f\{X_A, X_B, X_C\}$.

При этом для выполнения требования обеспечить минимальную трудоемкость при данном уровне точности описания процесса негативного воздействия ТП на ОС необходимо, чтобы вектор $R_{\text{ток}}(\text{ATC})$ включал в себя ограниченное количество параметров токсичности автомобиля.

Разработанная иерархическая структура ТП как источника негативного воздействия на ОС, представленная на рис. 1, говорит о том, что функциони-

рование транспортного макроисточника и воздействие на ОС в городских условиях представляет собой достаточно сложный процесс даже при его рассмотрении в первом приближении. При этом высокие темпы урбанизации приводят к интенсификации роста как количества, так и размеров мегаполисов, в границах которых параметры дорожно-транспортного комплекса имеют гораздо более высокую степень сложности в сравнении со средними условиями, что может быть проиллюстрировано данными, приведенными в табл. 1 [3].

Данные табл. 1 представляют наглядную картину высокой концентрации автомобилей на территории мегаполисов как по абсолютным, так и по удельным показателям, которые в десятки раз выше по сравнению со средними значениями по стране в целом [3].

Это приводит к тому, что при функционировании дорожно-транспортного комплекса в реальных условиях на УДС мегаполиса можно получить ТП с бесконечным множеством экологических характеристик ввиду большого многообразия сочетаний микроисточников в их структуре с различными индивидуальными токсическими характеристиками. Тогда здесь возникают серьезные постановочные и вычислительные проблемы, трудности в организации сбора и обработки исходной информации, ее последующего анализа.

Становится очевидным, что описание поведения каждого объекта невозможно не только

по причине большого их числа, но и ввиду наличия тесных межэлементных связей «Водитель – Автомобиль» на микроуровне (то есть в каждом АТС находится лицо, принимающее решение, которое имеет определенную свободу выбора в сложившихся условиях движения) [10, 11].

К этому стоит добавить, что подавляющее большинство внешних факторов, действующих на транспортный макроисточник, имеют стохастическую природу и обусловлены значительными флуктуациями параметров состояния ОС, дорожных условий и ОДД. И на микроуровне имеется ряд составляющих, которые обладают стохастическими свойствами. Сюда можно отнести техническое состояние автомобилей в

рассматриваемый момент времени и появление водителя с заданными характеристиками.

Поскольку развитие УДС и парка АТС непрерывно сопровождаются их усложнением и увеличением, то рано или поздно объем информации – сложность УДС и количество АТС на ней – выходит за пределы значений, допустимых для описания в реальном масштабе времени.

Для решения сформулированной проблемы следует разработанную иерархическую структуру ТП применять в неразрывной связи с методами и способами усредненного моделирования.

Иерархическая структура обеспечивает основу для достоверного описания процесса негативного воздействия транс-

портного макроисточника на ОС, а современные методы усредненного моделирования позволяют формализовать особенности влияния всех факторов, а также закономерности выявленных межэлементных и межуровневых связей при помощи различных математических процедур. Таким образом, будет снижено негативное влияние и индивидуальных экологических характеристик микроисточников, и колебаний в значениях параметров внешних факторов дорожно-транспортной системы.

Как следствие, существенно возрастает универсальность методов расчета ЭН на ОС, проводимых по данному алгоритму, так как они будут обеспечивать объективность в произвольных условиях движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луканин В. Н., Трофименко Ю. В. Промышленно-транспортная экология: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 2001. – 273 с.
2. Крутов В. И., Грушко И. М., Попов В. В. и др. Основы научных исследований: Учеб. для техн. вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 400 с.
3. Луканин В. Н., Буслаев А. П., Трофименко Ю. В., Яшина М. В. Автотранспортные потоки и окружающая среда: Учеб. пособие для вузов. – М.: ИНФРА-М, 1998. – 408 с.
4. Ротенберг Р. В. Основы надежности системы Водитель–Автомобиль–Дорога–Среда. – М.: Машиностроение, 1986. – 216 с.
5. Клинковштейн Г. И., Афанасьев М. Б. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.
6. Пугачев И. Н. Организация и безопасность движения: Учеб. пособие. – Хабаровск: Изд-во ХГТУ, 2004. – 232 с.
7. Медовицков Ю. В. Исследование в теории автомобиля // Транспорт: наука, техника, управление. – 1993, № 4. С. 30–40.
8. Балакин В. В. Теоретическая модель рассеивания отработавших газов автомобилей в воздухе при магистральной территории // Транспортные системы Сибири: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Красноярск, 20–21 ноября, 2003. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2003. – С. 29–31.
9. Богайчук Я. Э. Влияние низкотемпературных условий эксплуатации на экологичность автомобилей: Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2004. – 19 с.
10. Cuesta J. A., Martinez F. C., Molera J. M., Sanches A. Phase transitions in two dimensional traffic-flow models // Phys. Rev. Ser. E. – 1993, V. 48. P. 4175–4178.
11. Dougherty M. A review of natural networks applied to transport // Transp. Res. C. – 1995, V. 3, № 4. P. 247–260.

□ Автор статьи:

Жданов

Вячеслав Леонидович

– ст. преп. каф.

автомобильных перевозок