

## МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА ВОЗДУШНЫЙ БАССЕЙН ГОРОДА ПЕНЗА

А. Д. Шумилин, Н. Н. Вершинин, А. А. Авдоница

### *Введение*

Способ экологического мониторинга, как правило, предусматривает быстрый доступ к информации удаленных пользователей и применение этой информации с целью устойчивого развития социальных структур и среды обитания [1].

На сегодняшний день актуально создание первичных методов обработки данных [2], включающих в себя оценку случайности, независимости, однородности и репрезентативности элементов выборки в исследуемых областях, что до настоящего времени базировалось в основном на априорных допущениях. В методах обработки важнее применить системный анализ.

Системный анализ – это определенная стратегия научного поиска, которая использует математические методы и модели, руководствуясь систематизированным научным подходом к решению сложных проблем [3, 4].

Динамика движения транспорта по дорожной сети города относится к сложной системе, не имеющей четких границ, таким образом нечеткие отношения могут задаваться в виде нечеткого графа. Для прогнозирования и описания движения автотранспорта по линейной части дороги целесообразно использовать нечеткие методы, которые позволяют учесть неопределенность структуры, динамику движения, а также зависимость интенсивности движения от плотности потока транспорта в заданные временные периоды.

Нечеткое моделирование – одна из перспективных областей современных высоких технологий. Актуальность и преимущество этой новой технологии перед известными и ставшими уже классическими концепциями моделирования и управления заключаются в тенденции увеличения сложности математических, формальных моделей, реальных систем и процессов управления. Акцент сделан на повышении ее адекватности современному миру с учетом увеличивающегося числа различных факторов, оказывающих влияние на процессы принятия решений [5, 6].

Необходимо воспользоваться именно такими методами, которые специально ориентированы на построение моделей независимо от неполноты или неточности исходных данных. Именно в таких ситуациях технология нечеткого моделирования оказывается наиболее конструктивной.

### *Загрязнение окружающей среды от дорожного движения*

Дорожная сеть г. Пензы имеет сложную структуру, большое количество перекрестков (узлов) и узких улиц старой части города, что создает предпосылки для локального скапливания вредных выбросов в окружающей атмосфере.

Пространственная структура дорожной сети, ее топология – совокупность населенных пунктов, узлов и соединяющих их дорог во взаимном расположении – показывает потенциальные возможности дорожной сети обеспечивать передвижение между отдельными пунктами этой сети.

Узлам и дорогам могут быть присвоены функциональные или числовые характеристики, по которым определяются отдельные качественные показатели связей между различными пунктами сети. Общее состояние свойств системы измерения целесообразно определить как некоторую группу параметров непосредственного измерения, в которой погрешность косвенного измерения будет минимизирована [7].

Рассматривают структуру как сети в целом, так и отдельных подсетей, выделяемых по виду, типу входящих в них дорог, территории, оперативной целесообразности.

Загрязнение окружающей среды от дорожного движения зависит, в частности, от интенсивности движения, скорости движения, наличия разгонов и торможений, состава движения, прямолинейности дороги и естественных условий вдоль дороги.

Главная дорожная сеть Пензы была построена для пропуска гораздо меньших, чем сегодня, транспортных потоков, что приводит в настоящее время к очередям и более высокой плотности, а следовательно, и интенсивности дорожного движения. Часто дороги не соответствуют нормативным требованиям. Все это приводит к тому, что один неисправный автомобиль или небольшое ДТП может стать причиной остановки движения на всем протяжении перегона дороги. Имеющаяся дорожная инфраструктура не справляется с дорожными потребностями и не успевает за ростом уровня автомобилизации – это не опровержимый факт. Это в свою очередь приводит к значительному ухудшению экологической обстановки как в районе автодорог, так и всего города в целом.

В нашем исследовании рассматривается нечеткая модель оценки состояния окружающей среды (превышение концентрации угарного газа) на перекрестках автотранспортной сети города Пензы.

Проведен анализ основных факторов, определяющих воздействие на окружающую среду. Показаны расчеты, что уровень загрязнения окружающей среды вследствие дорожного движения зависит не только от интенсивности движения, скорости движения, наличия разгонов и торможений, состава движения, прямолинейности дороги и естественных условий вдоль дороги, но и от существующей инфраструктуры дорожной сети и плотной городской застройки, которые являются дополнительной причиной локальной концентрации вредных выбросов. Ухудшение экологической обстановки как в придорожной среде, так и города в целом, обусловлено дорожной инфраструктурой, степень развития которой не соответствует динамике роста количества автомобилей.

Использование методов нечеткого моделирования обусловлено наличием в рассматриваемой системе движения автотранспорта по автомагистралям таких факторов неопределенности, как:

– состав транспортного потока по типу, количеству, износу транспортных средств, техническому состоянию;

– интенсивность движения,

– скорость движения,

– наличие разгонов и торможений,

– состав движения,

– прямолинейность дороги, естественные условия вдоль дороги (инфраструктура) и др.

Этапы нечеткого вывода могут быть реализованы неоднозначным образом, поскольку включают в себя отдельные параметры, которые должны быть фиксированы или специфицированы. Тем самым выбор конкретных вариантов параметров каждого из этапов определяет некоторый алгоритм, который в полном объеме реализует нечеткий вывод в системах правил нечетких продукций.

Для рассматриваемой модели выбран алгоритм нечеткого вывода Мамдани, который в наибольшей степени соответствует параметрам проводимых этапов, одним из первых нашел применение в системах нечеткого вывода.

В г. Пензе численность автомобильного парка быстро растет, в результате происходит непрерывный подъем интенсивности дорожного движения на улично-дорожной сети города.

Чтобы оценить рост и влияние выбросов загрязняющих веществ автомобильным транспортом на состояние атмосферного воздуха в г. Пензе, исследования проводились на четырнадцати особо значимых перекрестках, расположенных в центральной части города: на перекрестках ул. Карпинского, 8 Марта, Суворова, Плеханова, Пушкина, Володарского и пл. Ленина. Выбор обусловлен тем, что каждодневно на этих перекрестках наблюдается сосредоточение большого количества пешеходов, а также в зоне влияния перекрестков имеется значительное число различных учреждений, торговых предприятий и ведется интенсивное строительство высотных жилых домов.

Вблизи перекрестка ул. Карпинского – ул. 8 Марта расположен торговый центр. В районе перекрестков ул. Суворова – ул. Плеханова и ул. Пушкина – ул. Володарского находятся несколько торговых центров, школа искусств, театр, государственные и коммерческие учреждения. В зоне пл. Ленина находятся корпуса правительства Пензенской области, почта, торговые центры, банки, супермаркет. На всех перекрестках в непосредственной близости проживают люди в жилых многоквартирных домах.

Проведение сбора данных проводится по двум направлениям:

- 1) определение содержания СО в атмосферном воздухе в районе перекрестков;
- 2) интенсивность движения.

В весенне-летний период увеличивается интенсивность автотранспортного потока, поэтому необходимо проводить мониторинг отдельно по сезонам: зимний / летний. Интенсивность движения автотранспорта ( $G$ ) определялась путем подсчета в течение часа проходящих транспортных средств в течение трех недель как в рабочие, так и в выходные дни. Данный анализ проводился в часы с наибольшей нагрузкой на автомагистрали города: с 7.30 до 9.30 часов утра, с 12.00 до 14.00 часов дня и с 17.30 до 19.30 часов вечера.

Определены четыре группы автотранспортных средств: легковые автомобили, оснащенные бензиновыми двигателями; автомобили, оснащенные бензиновыми двигателями, грузоподъемностью до 3 тонн; автобусы и грузовые автомобили, оснащенные дизельными двигателями, грузоподъемностью свыше 3 тонн. Автотранспортные средства типа «Газель» были выделены в отдельную группу, так как в настоящее время такие автомобили занимают значительное место на улицах г. Пензы, их количество значительно превышает число грузовых машин и автобусов и уступает лишь легковым автомобилям.

Согласно полученным данным, самым загруженным перекрестком является пересечение улиц Суворова и Чехова (рис. 1).



Рис. 1. Интенсивность движения автотранспорта

Здесь количество автотранспортных средств в определенные дни превышает 3000 единиц. Середина недели – пик интенсивности движения для большинства перекрестков. В будние дни «часы пик» имеют место в утреннее и вечернее время, а в выходные – напротив, на середину дня приходится большая интенсивность движения. В весенне-летний период наблюдается некоторое повышение интенсивности движения автотранспортных средств на улицах города за счет увеличения количества легкового автотранспорта.

Для определения содержания оксида углерода в атмосферном воздухе использовался газо-анализатор «Палладий». Для повышения качества исследований и точности выводов производилось по три параллельных забора проб в различных местах перекрестка.

Результаты исследования атмосферного воздуха на содержание СО (угарного газа), который образуется при неполном сгорании топлива в выхлопных газах автомобилей, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений содержания СО в атмосферном воздухе, проведенных на перекрестках г. Пенза в весенне-летний период

| Место забора пробы<br>(перекресток)  | Средняя величина<br>СО, мг/м <sup>3</sup> | Интенсивность<br>G, авт/ч |
|--------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------|
| ул. Окружная – ул. Калинина          | 7,42                                      | 2760                      |
| ул. Окружная – ул. Мира              | 5,2                                       | 2180                      |
| ул. Карпинского – ул. 8 Марта        | 5,2                                       | 1780                      |
| ул. Суворова – ул. Плеханова         | 5,41                                      | 2300                      |
| ул. Пушкина – ул. Плеханова          | 5,67                                      | 2480                      |
| ул. Суворова – ул. Чехова            | 8,9                                       | 3100                      |
| ул. Пушкина – ул. Кулакова           | 6,0                                       | 2400                      |
| ул. Лермонтова – ул. Кирова          | 5,9                                       | 2060                      |
| ул. Карла Маркса – ул. Кирова        | 4                                         | 1300                      |
| ул. Лермонтова – ул. Маршала Крылова | 3,6                                       | 1100                      |
| ул. Карла Маркса – ул. Володарского  | 5,5                                       | 1640                      |
| ул. Кирова – ул. Либерсона           | 7,26                                      | 2630                      |
| ул. Славы – ул. Урицкого             | 3,11                                      | 930                       |
| ул. Славы – ул. Кирова               | 5,92                                      | 2560                      |

На основании проведенных замеров из расчета  $\text{ПДК}_{\text{мр}}(\text{СО}) = 5 \text{ мг/м}^3$  был рассчитан критерий качества воздуха как стандартный индекс (Сизм) – наибольшая измеренная концентрация вещества за короткий период ( $t = 20$  мин), деленная на ПДК – для оксида углерода [8].

Полученные данные проведенных исследований доказывают, что выбросы СО в атмосферу г. Пензы на центральных улицах не превышают средних показателей по стране. СИ для угарного газа находится в пределах 1,4–4, что констатирует низкое загрязнение этим веществом. Угарный газ оказывает разрушающее действие на организм человека, в частности, на нервную систему. Этому веществу, как и большинству загрязнителей, требуется время для вступления в реакцию, поэтому важна не только концентрация, но и время воздействия (экспозиция), что требует постоянного моделирования и контроля.

Загрязнение окружающей среды от дорожного движения зависит, в частности, от интенсивности движения, скорости движения, наличия разгонов и торможений, состава движения, прямолинейности дороги и естественных условий вдоль дороги (рис. 2). Значительное изменение загрязнения окружающей среды достигается за счет изменения этих условий. По результатам моделирования возможно планирование полноценных мероприятий, улучшающих организацию дорожного движения по снижению очереди автотранспортных средств, интенсивности движения, скоростному режиму.

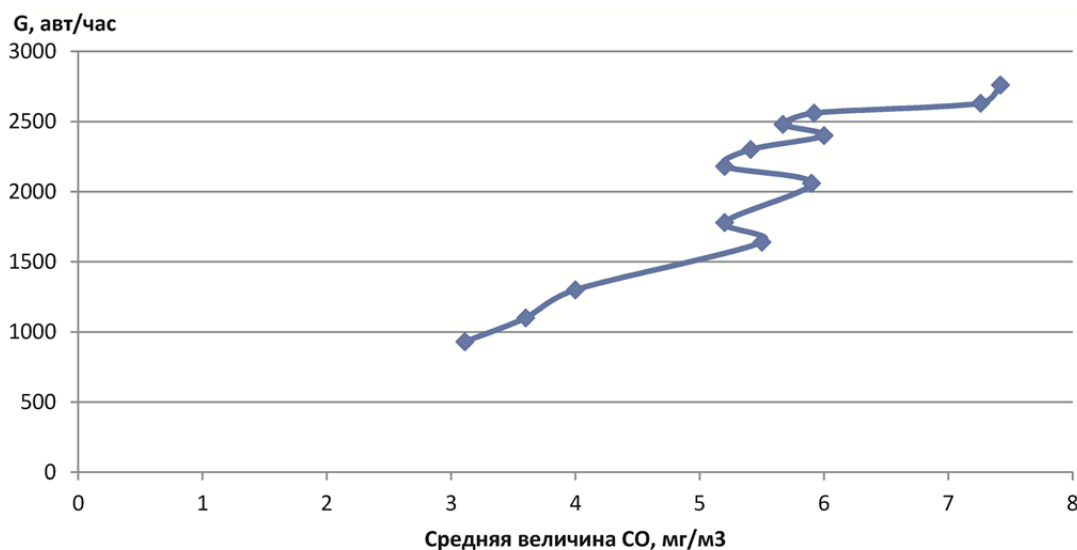


Рис. 2. Зависимость средней величины СО, мг/м<sup>3</sup>, от интенсивности движения транспортных средств

По итогу проведенных исследований строится корреляционная зависимость содержания угарного газа от интенсивности движения.

В соответствии с графиком этой зависимости уравнение имеет вид

$$C_{CO} = A + B \times R,$$

где  $C_{CO}$  – концентрация CO в атмосфере;  $A = 1,0545826$ ;  $B = 0,0023731401$ ;  $R = 0,907$ ;  $R$  – величина достоверности аппроксимации.

Из полученной зависимости получаем, что при возрастании интенсивности движения возрастает и количество угарного газа в окружающей среде. Довольно высокий разброс данных зависимости содержания угарного газа в атмосфере от интенсивности движения объясняется большей или меньшей площадью, занимаемой каждым перекрестком, наличием или отсутствием высоких и длинных сооружений вблизи перекрестка, а также различной зоной влияния (длиной очереди автотранспортных средств перед перекрестком) и др.

На основании проведенных исследований было также установлено соотношение между автотранспортными средствами, наиболее характерное для центральной части г. Пенза: легковые автомобили, оснащенные бензиновыми двигателями; автомобили, оснащенные бензиновыми двигателями, грузоподъемностью до 3 тонн; автобусы и грузовые автомобили, оснащенные дизельными двигателями, грузоподъемностью свыше 3 тонн – 64 % / 24 % / 10 % / 2 % соответственно.

В целом на центральных улицах города основную часть автотранспортного потока занимают легковые автомобили. Грузовые автотранспортные средства не превышают 2 % от общего состава.

При оценке воздействия на окружающую среду транспортных потоков остаются вне поля зрения вопросы перспективы и состояния автомобильного парка, которые оказывают существенное влияние на уровень загрязнения воздуха, воды, почвы.

Недостаточно изучена динамика насыщения автопарка транспортными средствами с пограничным уровнем экологической безопасности по техническому состоянию двигателя, в особенности дизельных. Это важно для урбанизированных территорий, со значительным приростом численности автомобильного парка. В этом случае задачи снижения выбросов загрязняющих веществ множеством машин становятся особенно значимыми.

### **Заключение**

Для создания итоговой модели оценки состояния окружающей среды на примере центральной части г. Пензы воспользуемся алгоритмом Мамдани.

Согласно проведенному мониторингу центральной части г. Пензы и выведенной зависимости производится настройка термов для входной лингвистической переменной  $G$  – «Пропускная способность».

В качестве программного средства для реализации нечеткой модели оценки состояния окружающей среды на перекрестках автотранспортной сети г. Пензы была выбрана система MATLAB. Проводится этап фазификации (введение нечеткости) с использованием редактора систем нечеткого вывода FIS и полученных данных.

С помощью этой программы было проведено исследование на адекватность разработанной нечеткой модели и оценено влияние изменения значений входных нечетких переменных на значение выходной нечеткой переменной.

Выполненная оценка выбросов угарного газа в атмосферу автомобильным транспортом на центральных улицах г. Пензы показала, что загрязнение угарным газом не превышает средних показателей по стране и находится в среднем диапазоне.

Экспериментальные исследования, проведенные в г. Пенза, показали в достаточной степени удовлетворительное совмещение теоретических и экспериментальных результатов при оценке загрязненности угарным газом на автомагистралях города.

Основными итогами исследования является синтезирование структурно-функциональной организации системы информационной поддержки управления экологической обстановкой города, содержащей блок первичной обработки, реализующий способ нормирования выборочных данных и позволяющий исключать неоднородные и нерепрезентативные выборки из дальнейшей обработки.

### Список литературы

1. Скиден, У. Глобальный вызов Бангеманна: о международной программе Европейской Комиссии по интеграции городов в информационное общество / Улла Скиден // Информационное общество. – 1999. – № 4. – С. 11–14.
2. Швырков, В. В. Тайна традиционной статистики запада / В. В. Швырков. – М. : Финансы и статистика, 2008. – 386 с.
3. Кудашев, Е. Б. Конвергенция новейших информационных технологий и методов дистанционного зондирования Земли для построения аэрокосмического экологического мониторинга мегаполисов / Е. Б. Кудашев, В. П. Мясников, О. В. Сюнтюрено // Вестник РФФИ. – 2001. – № 2 (июнь). – С. 47–54.
4. Акимова, Т. А. Экология. Природа – Человек – Техника : учебник / Т. А. Акимова, А. П. Кузьмин, В. В. Хаскин ; под общ. ред А. П. Кузьмина. – М. : Экономика, 2007. – 510 с.
5. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 415 с.
6. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств : пер. с франц. / А. Кофман. – М. : Радио и связь, 1982. – 432 с.
7. Северцев Н. А. Системный анализ определения параметров состояния и параметров наблюдения объекта для обеспечения безопасности / Н. А. Северцев // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 1. – С. 4–10.
8. Кривошеин, Д. А. Экология и безопасность жизнедеятельности : учеб. пособие для вузов / Д. А. Кривошеин ; под ред. Л. А. Муравья. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2010. – 372 с.

#### **Шумилин Алексей Дмитриевич**

аспирант,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: eco@pnzgu.ru

#### **Вершинин Николай Николаевич**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой техносферной безопасности,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: nvershinin@yandex.ru

#### **Авдонина Любовь Александровна**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра техносферной безопасности,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: eco@pnzgu.ru

**Аннотация.** *Актуальность.* Для транспортного комплекса города в условиях современной России характерна высокая динамика изменения количества транспортных средств как следствие воздействия на окружающую среду и влияние на здоровье человека. Возникает необходимость мониторинга и прогнозирования экологической обстановки городов для своевременного принятия мер по уменьшению данного воздействия. Результативность планирования, контроля любых стабилизационных воздействий, направленных на сокращение негативного влияния транспорта, базируется на принципе предварительного анализа параметров транспортных средств и факторов внешней среды, определяющих формирование экологической ситуации на рассматриваемой территории. *Материалы и методы.* На основе анализа, отбираются параметры экомониторинга, которые полностью будут описывать состояние объекта

#### **Shumilin Aleksey Dmitrievich**

postgraduate student  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

#### **Vershinin Nikolay Nikolaevich**

doctor of technical sciences, professor,  
head of sub-department of technosphere safety,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

#### **Avdonina Lyubov Aleksandrovna**

candidate of technical sciences, associate professor,  
sub-department of technosphere safety,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Abstract.** *Background.* For city transport complex in the conditions of modern Russia is characterized by high dynamics of changes in the number of vehicles as a result of the environmental impact and the impact on human health. There is a need to monitor and forecast environmental conditions of cities for the timely adoption of measures to reduce this impact. The effectiveness of planning, monitoring any stabilization actions aimed at reducing the negative impact of transport based on the principle of a preliminary analysis of the parameters of vehicles and environmental factors that determine the formation of the ecological situation in the territory under consideration. *Materials and methods.* On the basis of the analysis, ecomonitoring parameters which will describe completely a condition of object – as systems at any moment are selected. For the solution of an objective we will use methods of design of indistinct systems. This system will allow not to depend on incom-

как системы в любой момент времени. Для решения поставленной задачи мы будем использовать методы проектирования нечетких систем. Данная система позволит не зависеть от неполноты получаемых данных. *Результаты.* Проведено исследование в рамках задач управления экологической обстановкой в районе наиболее загруженных автомагистралей города Пенза. Выработан алгоритм, в основу которого положен аппарат нечеткого моделирования при выполнении задания на уменьшение времени сбора информации. *Выводы.* Экспериментальные исследования, проведенные в г. Пенза, показали в достаточной степени удовлетворительную сходимость теоретических и экспериментальных результатов при оценке загазованности угарным газом на автомагистралях города.

**Ключевые слова:** мониторинг, прогноз, Пенза, нечеткое моделирование, автотранспорт, экологическая обстановка.

pleteness of the obtained data. *Results.* Research within problems of management of an ecological situation near the most loaded highways of the city of Penza is conducted. The algorithm which basis the device of indistinct modeling is, when performing a task for reduction of time of collection of information is developed. *Conclusions.* The pilot studies conducted in Penza have shown sufficiently satisfactory convergence of theoretical and experimental results at a gas contamination assessment by carbon monoxide on highways of the city.

**Key words:** monitoring, forecasting, Penza, fuzzy modeling, transport, ecological conditions.

УДК 656.13

Шумилин, А. Д.

Мониторинг и прогнозирование влияния автомобильного транспорта на воздушный бассейн города Пенза / А. Д. Шумилин, Н. Н. Вершинин, Л. А. Авдоница // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 2 (14). – С. 97–103.