

УДК 656.13

Максимов И.М., инженер, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;

Сулейманов И.Ф., кандидат технических наук, доцент, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;

Маврин Г.В., кандидат химических наук, доцент, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ АВТОТРАНСПОРТА

Аннотация: В данной работе были выявлены основные загрязнители городского воздуха при движении автомобильного транспорта. На основе регрессионного анализа были определены главные факторы автотранспортной системы, влияющие на загрязнение воздуха. Также были предложены пути решения проблемы загрязнения путем модернизации системы обработки выхлопных газов.

Ключевые слова: автомобильный транспорт; химическое загрязнение воздуха; система обработки выхлопных газов.

Проблема загрязнения атмосферного воздуха в техносфере имеет огромное значение для ее устойчивого развития. Некачественный воздух находит отражение и в проблемах, связанных с ухудшением здоровья людей, и в проблемах оптимального функционирования промышленных и инфраструктурных объектов. Решение проблемы загрязнения воздуха является одним из следствий создания и реализации технологий на базе возобновляемых источников энергии, а также безотходных цепочек производства и потребления. Одним из наиболее интенсивных источников загрязнения воздуха является автотранспорт. Целью данной работы является выявление основных загрязняющих веществ в городском воздухе при движении автомобильного транспорта путем моделирования с использованием апробированных методик и статистического анализа.

Моделирование рассеивания загрязняющих веществ, источником которых является движение автомобильного транспорта, производилось в УПРЗА «Эколог» 4.60. Карты распространения выбросов CO и NO₂ представлены на рисунке 1.

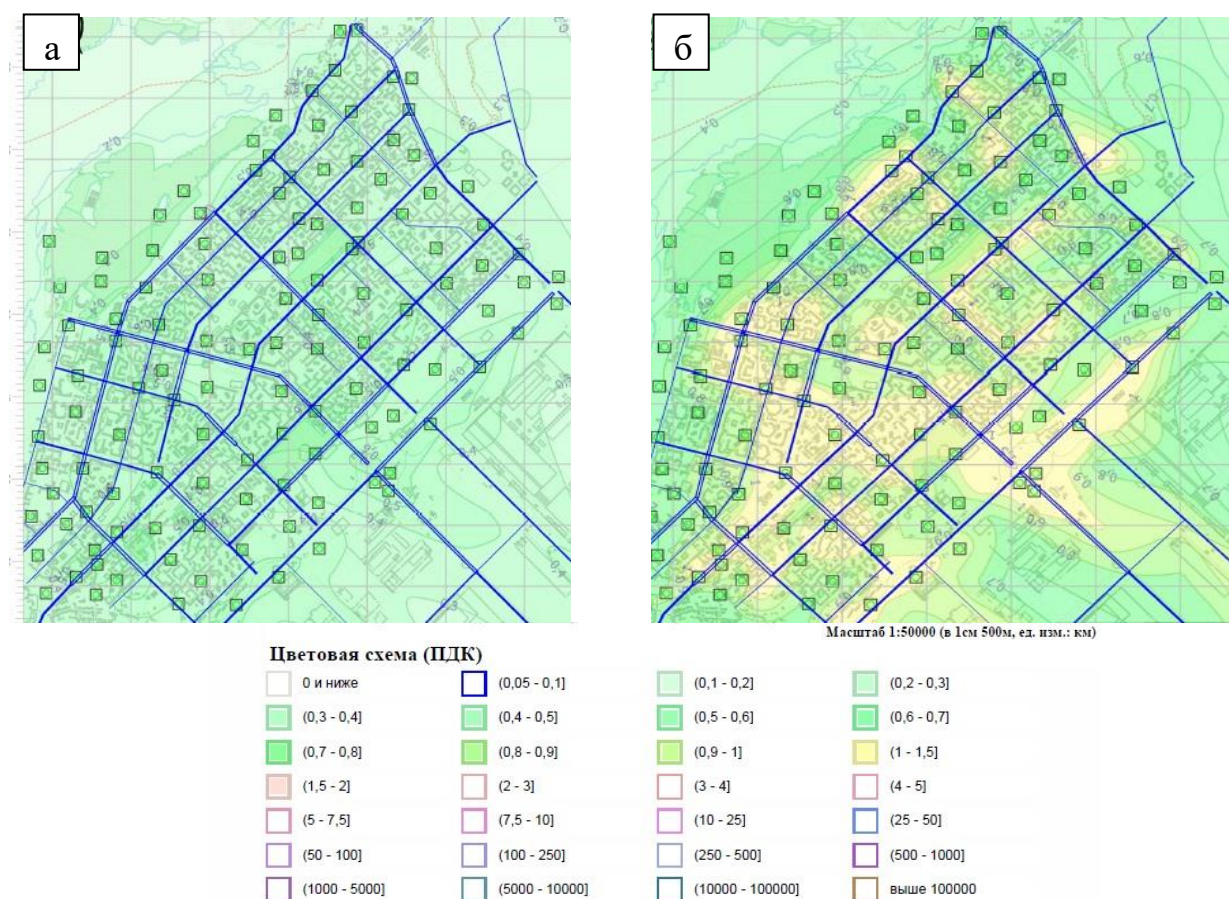


Рис. 1. Карты распространения выбросов с отображением относительных величин концентраций от соответствующего среднесуточного ПДК: а) монооксид углерода, б) диоксид азота

По выбранным точкам, выделенным на рисунке 1, были построены гистограммы для определения частоты попадания в соответствующие диапазоны концентраций. На основе полученных гистограмм при помощи критерия Колмогорова-Смирнова были подобраны наиболее подходящие теоретические распределения (перечисленные действия были выполнены в статистическом пакете Statgraphics). Через функцию распределения (кумулятивный закон распределения) для концентраций были рассчитаны

вероятности превышения соответствующего среднесуточного ПДК как разность полной вероятности и той ее части, которая отвечает за интервал до значения предельной концентрации. Результаты представлены на рисунке 2 и в таблице 1.

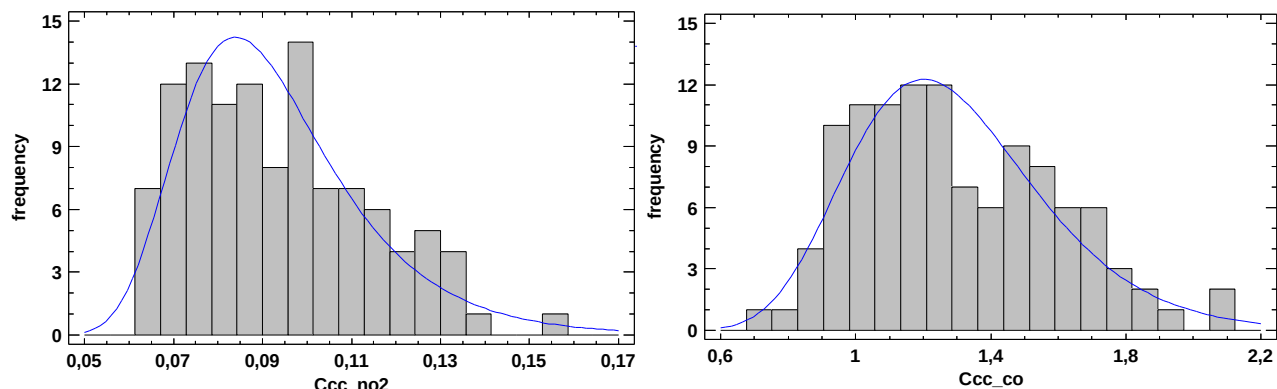


Рис. 2. Гистограммы концентраций NO₂ и CO вместе с кривыми теоретических распределений

Таблица 1

Вероятности превышения среднесуточных ПДК для рассматриваемых загрязняющих веществ

Тип	закон распределения	тест Колмогорова-Смирнова: р-значение (для 95%)	ПДК, мг/м ³	1-кумулятивный закон распределения	Вероятность превышения ПДК, %
C _{cc} (no ₂)	Гумбель	0,781945	0,1	$1-e^{-e^{-(0,1-0,0839889)/0,0165487}}$	31,62
C _{cc} (co)	Логнормальное	0,879512	3	$1-\Phi(\ln(3))$	0,0062

Из таблицы 1 видно, что вероятность превышения среднесуточного ПДК для NO₂ в исследуемой зоне составляет почти треть всей ее площади, в то время как для CO аналогичный показатель незначителен, т.е. можно сказать, что концентрации угарного газа не выходят за пределы установленного лимита.

С целью определения влияния ближайших автомобильных дорог на концентрацию воздушного поллютанта в данной точке расчета, исследуемая зона была разбита на шестиугольные полигоны с центрами в этих точках. В программе QGIS была проведена пространственная интерполяция

среднесуточных концентраций NO_2 с цветовым отделением зон превышения ПДК. При помощи инструмента «Зональная статистика» из блока «Анализ растра» программы QGIS, была рассчитана регулярность появления каждого из двух пикселей в каждом полигоне, чтобы, в свою очередь, вычислить процент площади полигона, для которой ожидается превышение концентрации над ПДК. Результаты пространственной интерполяции и гистограммы доли превышения ПДК_{сс} от площади полигона для диоксида азота представлены на рисунке 3.

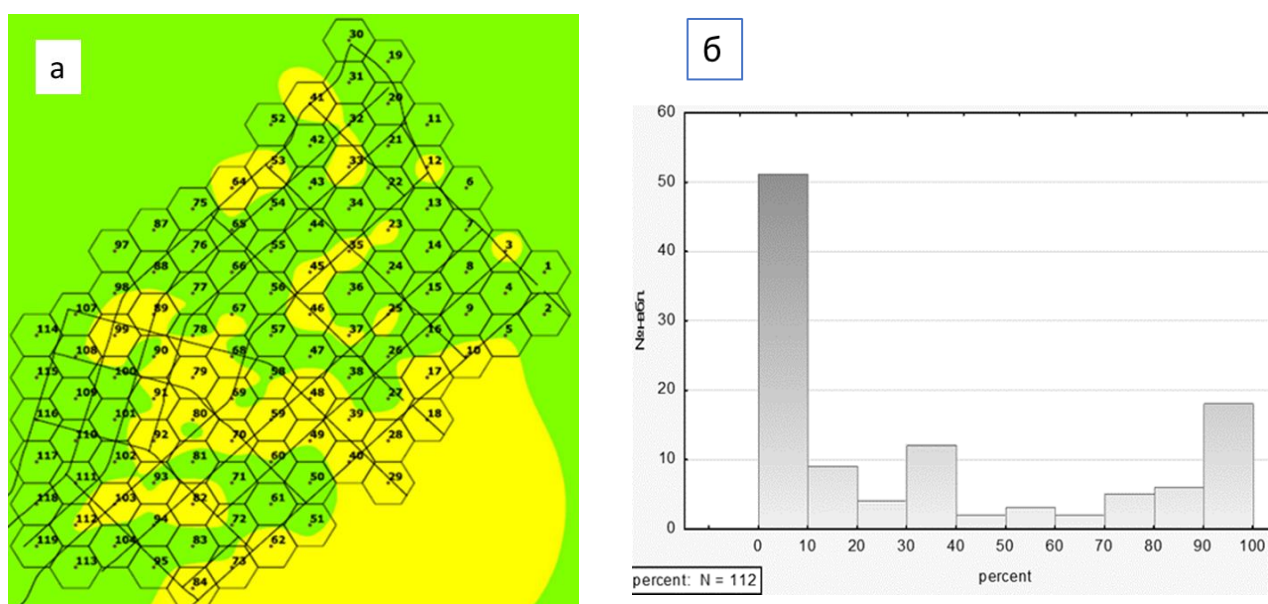


Рис. 3. Превышение концентраций NO_2 : а) графическое отображение (желтый цвет – зона превышения ПДК); б) гистограмма доли превышения ПДК_{сс} от площади полигона

Как видно из предыдущего рисунка, имеется большое количество полигонов, на которых отсутствуют зоны запределных концентраций диоксида азота. Также можно заметить, что имеется достаточное число полигонов с полным покрытием запределных концентраций, и эти полигоны, соединенные между собой, распространены вдоль основных автомобильных дорог исследуемой зоны.

Зависимость среднесуточной концентрации в центральной точке полигона от параметров автотранспортной системы полигона была исследована методом множественной регрессии. Учитывая нелинейный характер связи

независимых факторов с зависимыми показателями, уравнение регрессии строилось как сумма произведений предикторов (которые могут взаимодействовать между собой) вместе с наилучшей подходящей функцией для пространственных предикторов, связанных относительным расположением к центральной точке полигона. Наиболее значимые предикторы для уравнения подбирались методом пошаговой регрессии с исключением по t-тесту (порог исключения $p\text{-value} > 0,05$). Среднесуточная концентрация диоксида азота представлена в формуле 1 (скорректированный коэффициент детерминации $R_{adj}^2 = 44,4218 \%$, стандартная ошибка = 0,0152264):

$$C_{cc} = 0,0913633 + 7,50157E - 7 * L * heavy - 0,00167649 * \sqrt{distance} + 8,32058E - 10 * nei_L * nei_light \quad (1)$$

Среднесуточная концентрация угарного газа представлена в формуле 2 (скорректированный коэффициент детерминации $R_{adj}^2 = 44,0825 \%$, стандартная ошибка = 0,219733):

$$C_{cc} = 1,19778 + 4,9599E - 7 * L * light - 0,0189666 * \sqrt{distance} + 8,33568E - 9 * nei_L * nei_light \quad (2)$$

где: *light* и *nei_light* – интенсивность движения легковых автомобилей в данном полигоне и в соседних полигонах (авт./20 мин), *heavy* – интенсивность движения грузовых автомобилей в полигоне (авт./20 мин), *L* и *nei_L* – длина автомобильных дорог в данном полигоне и в соседних полигонах (м)

distance – расстояние от центральной точки к ближайшей автомобильной дороге (м).

Сравнивая уравнения регрессий концентраций разных веществ, можно заметить зависимость только от грузового транспорта для диоксида азота внутри полигона и зависимость только от легкового транспорта для угарного газа. Это, в свою очередь, объясняется фактом преимущественным оснащением грузовых автомобилей дизельным типом двигателей, отличающийся значительно меньшими выбросами угарного газа, вследствие процесса самовоспламенения горючей смеси в данных двигателях, но также и большим объемом потребления воздуха, что является причиной повышенных выбросов

оксидов азота, в сравнении с двигателями, работающими на бензине. Небольшие значения скорректированных коэффициентов детерминации связаны с тем, что в уравнениях учитываются только факторы автотранспортной системы для нахождения статистических закономерностей в данном спектре предикторов, а влияние метеоусловий в уравнениях не применяются в отличие от моделей на рисунке 1.

Еще одним серьезным поллютантом в атмосфере города является сажа, одним из источников которой могут быть автомобили. Из рисунка 4, где представлены карта рассеивания сажи и карта учета доли грузового транспорта в общем числе автомобилей, можно отметить некоторую связь между величиной концентраций сажи и долей грузового транспорта в полигоне, хотя она не прослеживается в нескольких местах. Причиной последнего может служить низкие концентрации сажи вследствие выбросов автомобилей (не превышает 0,2 доли от среднесуточного ПДК сажи).

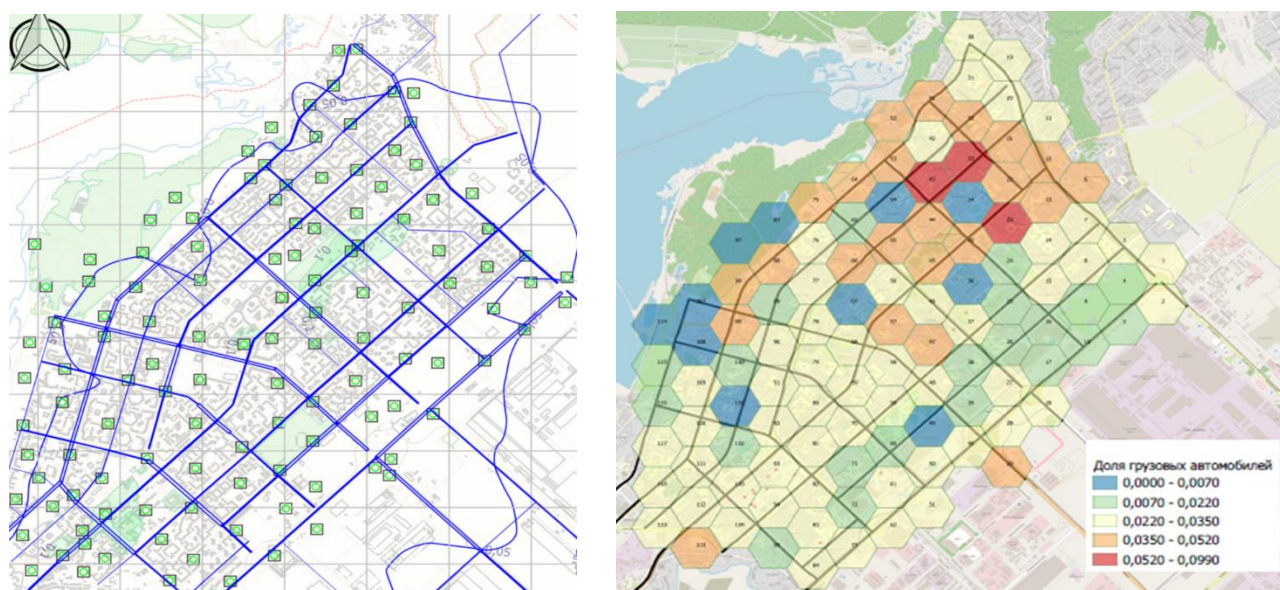


Рис. 4. Карта рассеивания сажи (слева) и доля грузового транспорта (справа)

Несмотря на удовлетворительные значения среднесуточной концентрации сажи относительно ПДК, выбросы от автотранспорта, в особенности от дизельных грузовых автомобилей, могут не соответствовать будущим экологическим стандартам в совокупности с постоянным

увеличением городского автомобильного парка. Кроме того, частицы сажи могут являться твердой фазой для накопления сконденсированных и адсорбированных летучих органических соединений и диоксида серы [1, с.6], поэтому данные частицы несут более серьезную потенциальную угрозу для здоровья людей.

Полученные в данной работе выводы о преимущественном вкладе в выбросы диоксида азота и сажи со стороны грузового транспорта, работающих в основном на дизельном топливе, а также о главном вкладе в выбросы угарного газа со стороны легкового транспорта, оснащенного бензиновыми двигателями согласуются с ранее полученными данными по компонентному составу выбросов в зависимости от типа двигателя [2, с.26]. Принимая во внимание связь между количественным содержанием компонентов в выхлопных газах и принципом работы двигателя внутреннего сгорания, одним из вариантов по улучшению качества городской атмосферы становится установка различных постдвигательных агрегатов, способствующих нейтрализации поллютантов до попадания их в атмосферу.

Как уже было сказано ранее, основным источником выбросов NO_2 и сажи является автомобильный транспорт, работающий на дизельном топливе. Приемлемая мера для уменьшения выбросов взвешенных частиц состоит в установке фильтрационных уловителей частиц, принцип действия которых основан на осаждении частиц в порах субстрата под действием диффузии (наибольший вклад оказывает для частиц до 200 нм), захвата субстратом (для частиц более 200 нм), инерции (для частиц более 800 нм) [3, с.5]. Постепенно, по мере улавливания все большего числа частиц, над поверхностью субстрата появляется осадок из частиц, эффективность улавливания частиц для которого значительно выше, чем у субстрата [3, с.6]. Для современных уловителей эффективность очистки от взвешенных частиц составляет от 95% и до 99% [4, с.1].

Для нейтрализации диоксида азота существуют следующие варианты, которые могут работать совместно:

1. Использование покрытого каталитической оболочкой уловителя для взвешенных частиц. Каталитическая оболочка способствует окислению сажи диоксидом азота при более низких температурах, чем при воздействии принудительного горения [5, с.1], а также на ее поверхности будет происходить конверсия NO в NO₂. Таким образом, можно добиться двойного эффекта: окисления сажи до CO₂, при этом NO₂ восстанавливается до N₂ (хотя его количество будет незначительным [6, с.9]) и постоянное потребление NO₂.
2. Восстановление оксидов азота до N₂ сгоранием углеводородов в каталитических камерах для смесей с избытком кислорода в выхлопных газах (HC-SCR) [7, с.110]. Также данная камера функционирует с обедненными кислородом смесями. В качестве катализаторов используются драгоценные металлы, накопители (BaO) и материалы, способствующие повышению площади поверхности (Al₂O₃, CeO₂, ZrO₂) [7, с.110].
3. Восстановление оксидов азота до N₂ при реакции с аммиаком в каталитических редукторах (NH₃-SCR). Процесс восстановления может происходить как в присутствии кислорода, так и в его отсутствии, причем наиболее ускоренно протекает взаимодействие аммиака со взятыми в одинаковых количествах по молям NO₂ и NO [1, с.18]. В качестве катализаторов используют материалы на основе ванадия, титана, оксида вольфрама, а также цеолиты [1, с.17]. При совместной установке в систему отчистки выхлопных газов HC-SCR и NH₃-SCR последний может работать на аммиаке, который выделяется как побочный продукт в процессе работы первого [8, с.144], т.е. существует возможность сокращения потребления аммиака системой обработки газов.
4. Установка системы рециркуляции отработавших газов, которая позволяет сократить использование новых порций атмосферного воздуха.

Таким образом, в данной работе были выявлены основные загрязнители городского воздуха при движении автомобильного транспорта и определены главные факторы автотранспортной системы, оказывающих влияния на

загрязнения. Также были предложены пути решения проблемы загрязнения путем модернизации системы обработки выхлопных газов.

Список использованных источников

1. Lao C.T. Development and application of a channel-scale exhaust after-treatment model: A dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy. – Cambridge, 2021. – p.200.
2. Иванова Ю.П. Повышение экологической безопасности линейного города при уменьшении воздействия оксида углерода и шума: дис. ... канд. тех. наук. – Волгоград, 2021. – 221с.
3. Ohara E., Mizuno Y., Miyairi Y., Mizutani T., Yuuki K., Noguchi Y., Hiramatsu T., Makino M., Takahashi A., Sakai H., Tanaka M., Martin A., Fujii S., Busch P., Toyoshima T., Ito, T., Lappas I., Vogt C. Filtration Behavior of Diesel Particulate Filters (1). SAE World Congress & Exhibition. 2007.
4. Meng Zhongwei, Fang Jia, Pu Yunfei, Yan Yan, Wu Yi, Wang Yongzhong, Song Qiang. Experimental Study on the Influence of DPF Micropore Structure and Particle Property on Its Filtration Process// Journal of Combustion. 2016. P. 1-12.
5. Tong Dehui, Zhang Jun, Wang Guoyang, Yang Bo, Cai Kaiyuan, Liu Shiyu, Abdalla Aniseh, Shuai Shi-Jin. Experimental Study and Numerical Interpretation on the Temperature Field of DPF during Active Regeneration with Hydrocarbon Injection// WCX World Congress Experience. 2018.
6. Fuwu Yan, Zhizhou Cai, Jie Hu. The state-of-the-art of soot load estimation in diesel particulate filters: A review// E3S Web Conf. Vol. 268. 2021. 34p.
7. Vrabie V., Scarpete D., Zbarcea O. The new exhaust aftertreatment system for reducing NOx emissions of diesel engines: lean NOx trap (LNT). A study// Trans Motauto World. 2016. Vol. 1(4). P. 35-38
8. Wetzel P., McCarthy J., Kulkarni M., Mohanta L., Griffin G. Diesel Exhaust Aftertreatment System Packaging and Flow Optimization on a Heavy-Duty Diesel Engine Powered Vehicle// SAE International Journal of Commercial Vehicles. 2010. Vol. 3(1). P. 143-155.

Maksimov I.M., engineer, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University;

Suleimanov I.F., candidate of technical sciences, assistant professor, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University;

Mavrin G.V., candidate of chemical sciences, assistant professor, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University;

RESEARCH OF CHEMICAL AIR POLLUTION BY ROAD TRAFFIC

Abstract: In this paper the main pollutants in city's air from road traffic were investigated. Using the regression analyze the main factors of road traffic system that influence on air pollution were determined. Ways to solve the problem of pollution by upgrading the exhaust gas aftertreatment system were proposed.

Key words: road traffic; chemical air pollution; exhaust gas aftertreatment system.

УДК 656.13.

*Махмудов Авазбек Акрамжонович, преподаватель кафедры «Инжиниринг транспортных средств», Наманганский инженерно-строительный институт.
e-mail: murotboy@mail.ru тел: 998995227272*

КОЛЕБАНИЯ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ И МЕТОДЫ ИХ ПОГАШЕНИЯ

Аннотация. В этой статье приведена разработка методических рекомендаций по погашению колебаний кузова и применения результатов их исследований в производство в целях усовершенствования технической состояние автомобильного транспорта.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, колебания кузова

Введение. Одним из основных направлений в улучшении плавности хода автомобиля является снижение уровня колебаний кузова. Эта достигается разработкой эффективных гасителей колебаний кузова - амортизаторов.