

Усовершенствование методов и средств определения токсичных компонентов в отработанных газах бензиновых автомобилей, обеспечивающих работу аэропортов

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Предложено усовершенствовать существующие методы и средства определения токсичных компонентов в отработанных газах бензиновых автомобилей, обеспечивающих работу аэропортов гражданской авиации, за счет внедрения полнопоточных систем отбора и анализа проб отработанных газов при испытаниях автомобилей на стендах с беговыми барабанами по европейскому ездовому циклу. Проанализирована степень воздействия оксидов азота и канцерогенов (бенз(а)пирена) на состояние окружающей среды городов, а также предложены новые подходы в измерении их количества за цикл испытаний.

Ключевые слова: европейский ездовой цикл, оксиды азота и бенз(а)пирен, объемная доля, хроматография, канцерогены, спектрометр.

Постановка проблемы (задачи) в общем виде

Сегодня в Украине каждый аэропорт гражданской авиации располагает достаточно обширным автопарком, обслуживающим деятельность этих предприятий. Автомобили, имеющиеся на балансе аэропортов, существенно дополняют загрязнение окружающей среды, производимое гражданской авиационной техникой. Так, только автомобили с бензиновыми двигателями внутреннего сгорания выбрасывают в составе отработавших газов такие вредные компоненты, как оксид углерода, оксиды азота, углеводороды, оксиды серы, канцерогенные углеводороды, соединения свинца и т.д. В настоящее время именно автомобили с бензиновыми двигателями составляют большую часть автомобильного парка Украины. Именно их выбросы формируют от 40 до 70% загрязнения приземного слоя атмосферы городов и мегаполисов, поступая непосредственно в зону дыхания населения.

Имеющиеся в Украине методы и средства определения содержания токсичных элементов в отработавших газах бензиновых автомобилей несовершенны. Так, этими методами предусматривается определение объемной доли только оксида углерода и углеводородов, а также сравнение их с существующими нормативами. Таким образом, не учитывается весь поингредиентный состав выбросов автомобилей с бензиновыми ДВС, а также применяются средства, измеряющие выбросы автомобиля, находящегося в статическом положении. Фактические же выбросы во время движения автомобиля с бензиновым двигателем по улицам города практически не учитываются и как таковые не нормируются [1].

Связь с важнейшими научными или практическими задачами

Задача максимального учета выбросов автомобилей с бензиновыми двигателями в Украине является наиболее актуальной. В настоящее время их

количество непрерывно возрастает, и при серьезной стагнации промышленности именно автотранспорт является основным вкладчиком в загрязнение окружающей природной среды. В этом случае наличие данных только по выбросам стационарных источников загрязнения и отсутствие качественных сведений о количестве и распределении выбросов от автотранспортных магистралей, а также количестве выбросов бензиновых автомобилей в зависимости от режимов их движения по дорогам будет снижать эффективность усилий государственных органов по экологизации городской среды.

Поэтому для организации эффективного государственного мониторинга за состоянием среды сегодня очень важным является усовершенствование методов и средств определения полного поингредиентного состава выбросов бензиновых автомобилей с отработавшими газами, а также учета фактического их распределения в виде приземных концентраций отдельных вредных веществ и их групп в атмосферном воздухе городов и населенных мест [2].

Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы

В 2004 году усилиями ряда ученых Украины было инициировано принятие нового государственного стандарта Украины ДСТУ 4277:2004. «Атмосфера. Нормы и методы измерения содержания оксида углерода и углеводородов в отработавших газах автомобилей, работающих на бензине или газовом топливе» [3]. В соответствии с этим стандартом владельцы автомобилей должны нормировать выброс вредных веществ с отработавшими газами только по двум составляющим: по объемной доле окиси углерода (СО) и углеводородов (С_nH_m). Все это должно выполняться во время работы двигателя в режимах холостого хода, для двух частот вращения коленчатого вала – минимальной (n_{\min}) и повышенной ($n_{\text{пов.}}$), установленных изготовителем транспортного средства. При этом содержание СО и С_nH_m в отработавших газах автомобилей должно быть в пределах значений, приведенных в таблицах 1, 2.

Таблица 1

Предельно допустимое содержание оксида углерода и углеводородов в отработанных газах автомобилей, не оборудованных нейтрализаторами

Топливо, на котором работает двигатель	Частота вращения	Оксид углерода, объемная доля, %	Углеводороды, объемная доля, млн ⁻¹ , для двигателей с числом цилиндров	
			до 4 включительно	более чем 4
Бензин	n_{\min}	3,5*	1200	2500
	$n_{\text{пов.}}$	2,0	600	1000
Газ природный	n_{\min}	1,5	600	1800
	$n_{\text{пов.}}$	1,0	300	600
Газ нефтяной сжиженный	n_{\min}	3,5	1200	2500
	$n_{\text{пов.}}$	1,5	600	1000

* Для автомобилей, впервые зарегистрированных до 1 октября 1986 г., допустимое содержание оксида углерода составляет 4,5 %

Таблица 2

Предельно допустимое содержание оксида углерода и углеводородов в отработавших газах автомобилей, оборудованных нейтрализаторами

Частота вращения	Автомобили с окислительными нейтрализаторами		Автомобили с трехкомпонентными нейтрализаторами	
	Оксид углерода, объемная доля, %	Углеводороды, объемная доля, млн ⁻¹	Оксид углерода, объемная доля, %	Углеводороды, объемная доля, млн ⁻¹
n _{мин}	1,0	600	0,5	100
n _{пов}	0,6	300	0,3	100

Выделение не решенных ранее частей данной проблемы, которым посвящена публикуемая статья

Однако измерение уровней содержания оксида углерода и углеводородов в отработавших газах автомобилей с бензиновыми (газовыми) двигателями внутреннего сгорания только на холостом ходу не определяет их экологического несовершенства. Эти данные могут использоваться только для оценки технического состояния ДВС, четкости и экономичности работы систем подачи и зажигания топлива в цилиндрах двигателя. В экологохимической вредности эти ингредиенты оцениваются как второстепенные, поскольку согласно классификации Минздрава Украины они отнесены к 3-му классу опасности. В то же время бенз(а)пирен и оксиды азота относятся к 1-му и 2-му классу опасности соответственно. В связи с тем, что в атмосферном воздухе эти вещества могут создавать нитроканцерогенные соединения, обладающие эффектом синергизма вредного действия на здоровье человека, именно они характеризуют степень экологохимической вредности отработавших газов бензиновых ДВС [4].

Измерение же объемной доли конкретной вредности на холостом ходу автомобиля (без его движения) не дает объективной оценки всех выбросов, осуществляемых при движении по городу на разных режимах.

Постановка задачи

Для более полной и точной оценки экологических показателей выбросов автомобилей с бензиновыми двигателями, более правильно было бы имитировать их движение в урбанизированной среде с одновременным выполнением замеров выбросов канцерогенных веществ и оксидов азота на усовершенствованном диагностическом оборудовании. Для этого необходимо испытывать автомобили на стендах с беговыми барабанами по европейскому ездовому циклу, определяя при этом не объемную долю конкретных вредностей, а количество выбросов в граммах за испытание (г/исп.). Европейский ездовой цикл (рис. 1) практически полностью отражает режим движения автомобиля с бензиновым двигателем в условиях городской среды, то есть все стадии фактического движения за

определенный период времени: начало движения, разгон за счет переключения скоростей, торможение перед светофором или предстоящим препятствием и т.д.

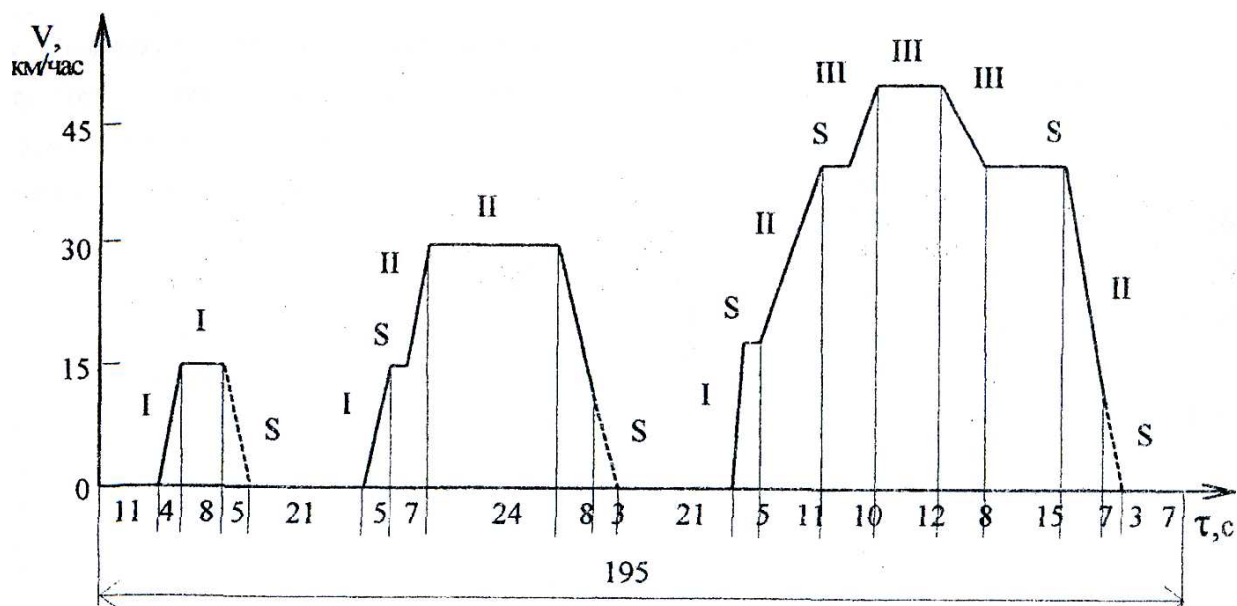


Рис. 1. Европейский ездовой цикл: S – момент переключения передач

Для измерения оксидов азота и канцерогенных углеводородов надо использовать современные газоанализаторы непрерывного действия [2, 4].

Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов

Учитывая тот факт, что по количеству случаев превышений предельно допустимой концентрации в приземном слое атмосферы разных районов г. Харькова и по уровню воздействия на организм человека бенз(а)пирен (как индикатор присутствия в выбросах автотранспорта канцерогенов) является наиболее значимым, методы его определения должны быть достаточно совершенными. Это обуславливается и тем, что законодательного технологического норматива выбросов бенз(а)пирена для бензиновых автомобилей в Украине сегодня нет. Именно поэтому для исследования наличия оксидов азота и бенз(а)пирена в отработавших газах должны быть применены комплексная методика испытания бензиновых автомобилей по европейскому ездовому циклу, а также надежные и точные системы отбора и анализа проб. Важным условием получения достоверных результатов является максимально полное улавливание бенз(а)пирена из отработавших газов автомобиля. В связи с этим, для стендовых испытаний грузовых бензиновых автомобилей предлагается использовать систему газового анализа [4, 5], указанную на рис. 2.

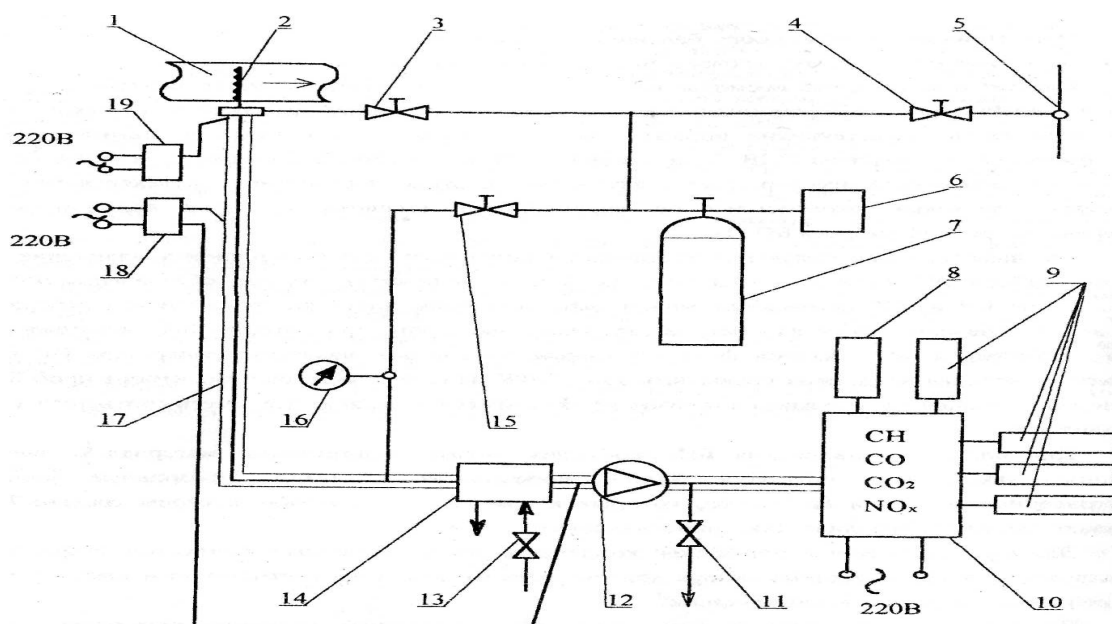


Рис. 2. Принципиальная схема системы отбора и анализа проб отработавших газов:

1 – выпускной коллектор двигателя (установки); 2 – интегральный газоотборник; 3 – вентиль регулировки подачи воды для охлаждения газоотборника; 4 – вентиль подачи воды из магистрали; 5 – водяная магистраль; 6 – воздушный компрессор; 7 – баллон со сжатым воздухом; 8 – баллон с нулевым газом; 9 – баллоны с поверочными газовыми смесями; 10 – газоаналитический измерительный комплекс АСГА-Т; 11 – вентиль регулировки магистрали байпаса; 12 – насос-побудитель расхода газа; 13 – вентиль регулировки подачи воды в холодильник-конденсатосборник магистрали подачи проб; 14 – водяной холодильник-конденсатосборник в магистрали подачи проб; 15 – вентиль регулировки подачи сжатого воздуха для продувки магистрали подачи проб; 16 – манометр; 17 – обогреваемая магистраль подачи проб; 18 – термоэлектрический преобразователь для контроля температуры стенки магистрали подачи проб газа; 19 – термоэлектрический преобразователь для контроля температуры отбираемого на анализ газа

Для полного отбора бенз(а)пирена из отработавших газов может быть применен метод фильтрации, если это вещество будет в виде аэрозоля. При этом необходимо обеспечить температуру отработавших газов перед фильтром, не превышающую 370°K , то есть система отбора проб должна обеспечивать охлаждение газов до указанного уровня, посредством применения специального холодильника. В качестве фильтрующих элементов могут быть применены аэрозольные фильтры Петрянова. Чтобы исключить попадание конденсата из охлаждаемых продуктов сгорания на фильтр, система отбора проб должна располагаться вертикально и иметь внизу конденсатосборник. Максимальный расход газа через фильтр не должен превышать 2 л/мин на 1 см^2 поверхности. Давление газа перед фильтром не должно превышать атмосферное более чем на $700 - 800 \text{ Па}$. Для обеспечения этих условий должна быть рассчитана необходимая поверхность фильтра, а система отбора – подключена к вытяжной системе. Система отбора проб после проведения каждого испытания должна промываться перегнанным бензолом либо ацетоном для извлечения

бенз(а)пирена, оседающего на стенках системы. Поэтому она должна быть изготовлена таким образом, чтобы все ее элементы были доступны для промывки.

Таким условиям отвечает и полнопоточная фильтрационная система отбора бенз(а)пирена из отработавших газов легковых автомобилей при их испытаниях на стенде с беговыми барабанами по европейскому ездовому циклу [4, 5], принципиальная схема которой приведена на рис. 3.

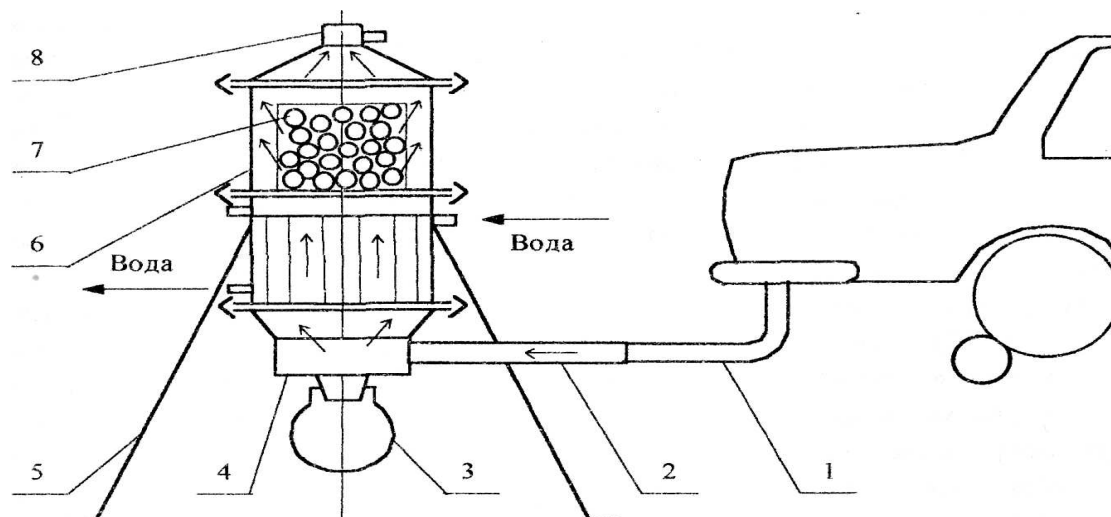


Рис. 3. Система отбора бенз(а)пирена из отработавших газов легковых автомобилей:

1 – выхлопная труба; 2 – входной патрубок системы отбора; 3 – конденсатосборник; 4 – водяной холодильник; 5 – стойка крепления системы; 6 – камера; 7 – фильтрующий элемент, 8 – выходной патрубок

Отработавшие газы автомобиля из выхлопной трубы через входной патрубок системы отбора поступают в вертикально расположенный водяной холодильник, где происходит их охлаждение до температуры 350°K . Площадь поверхности охлаждения холодильника составляет $\sim 0,3 \text{ м}^2$. Из холодильника газы поступают в цилиндрическую камеру и проходят через фильтрующий элемент. Он состоит из каркаса, основу которого составляет сетка из нержавеющей стали. На каркасе закрепляется фильтрующая ткань Петрянова типа ФПП-15, рабочая поверхность которой составляет $\sim 1000 \text{ см}^2$. Для предотвращения возможного прорыва фильтрующей ткани при резкой смене режимов работы двигателя, с наружной стороны фильтра также устанавливается сетка из нержавеющей стали.

Камера через выходной патрубок соединяется с вытяжной системой, что позволяет поддерживать необходимое давление газов перед фильтром. Образующийся при охлаждении конденсат стекает по стенкам холодильника в съемную колбу.

После отбора проб все его составляющие (фильтр, конденсат и смыв) тщательно экстрагируются в перегнанном бензоле. Для отделения бенз(а)пирена с экстрактов проводится хроматографическое фракционирование с применением адсорбционной хроматографии в тонком слое (адсорбент – окись алюминия «безводная»). Качественное и количественное определение содержания бенз(а)пирена проводится методом спектрально-флуоресцентного анализа на

спектрометрах комбинированного рассеяния. Принципиальная схема установки для качественного и количественного определения бенз(а)пирена в отобранных пробах [5] представлена на рис. 4.

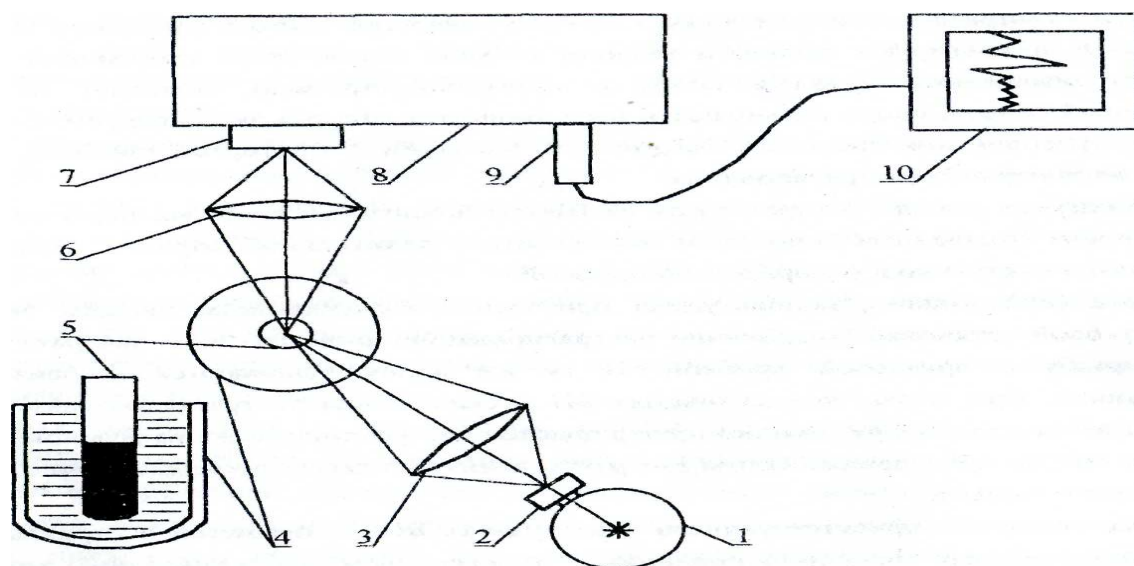


Рис. 4. Схема установки для определения бенз(а)пирена

1 – ртутно-кварцевая лампа; 2 – светофильтр; 3, 6 – конденсоры; 4 – сосуд Дьюара с жидким азотом; 5 – закрытая пробирка с пробой, 7 – входная щель спектрометра; 8 – спектрометр; 9 – фотоэлектронный умножитель; 10 – самопишущий потенциометр

Выводы

Автомобили с бензиновыми двигателями внутреннего сгорания являются основными загрязнителями атмосферного воздуха городов и мегаполисов Украины.

Методы и средства нормирования выбросов вредных веществ в атмосферный воздух с отработавшими газами автомобилей с бензиновыми ДВС, установленные государственным стандартом Украины ДСТУ 4277:2004, не позволяют контролировать их фактическое вредное воздействие на природную среду Украины.

Для более полного и правильного определения степени воздействия автомобилей с бензиновыми ДВС на окружающую природную среду необходимо нормировать выбросы оксидов азота и канцерогенных углеводородов при их испытании на стендах с беговыми барабанами по Европейскому ездовому циклу.

Для отбора и анализа проб отработавших газов автомобилей с бензиновыми ДВС необходимо применять полнопоточные устройства, обеспечивающие непрерывный и максимальный учет имеющихся в выбросах вредных веществ, а также постоянное их определение на различных режимах движения.

Список литературы

1. Філіппов, А.З. Промислова екологія (транспорт) [Текст] / А.З. Філіппов – К.: Вища шк., 1995. – 82 с.
2. Канило, П.М. Эколого-экономический анализ эксплуатационных

показателей автомобилей с карбюраторными двигателями и дизелями [Текст] / П.М. Канило, А.В. Овчаров, А.И. Ровенский / НАН Украины. Северо-Восточный научный центр. – Х. – 1997. – 22 с.

3. ДСТУ 4277:2004. Атмосфера. Норми і методи вимірювання вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів з двигунами, що працюють на бензині або газовому паливі. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 8 с.

4. Канило, П.М. Современные методы и средства экодиагностики автомобилей и их двигателей [Текст] / П.М. Канило, А.В. Овчаров, А.И. Ровенский / НАН Украины. Северо-Восточный научный центр. – Х. – 1998. – 19 с.

5. Канило, П.М. Комплексные экологические исследования легковых автомобилей с карбюраторными двигателями [Текст] / П.М. Канило, А.В. Овчаров // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – № 3 – С. 37 – 43.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.В. Бетин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

Поступила в редакцию 16.03.12.

Удосконалення методів і засобів визначення токсичних компонентів у відпрацьованих газах бензинових автомобілів, що забезпечують роботу аеропортів

Запропоновано вдосконалити існуючі методи та засоби визначення токсичних компонентів у відпрацьованих газах бензинових автомобілів, що забезпечують роботу аеропортів цивільної авіації, за рахунок упровадження повнопоточних систем відбору і аналізу проб відпрацьованих газів під час випробувань автомобілів на стендах з біговими барабанами по європейському їздовому циклу. Проаналізовано ступінь впливу оксидів азоту та канцерогенів (бенз(а)пірену) на стан довкілля міст, а також запропоновано нові підходи у вимірюванні їхньої кількості за цикл випробувань.

Ключові слова: європейський їздовий цикл, оксиди азоту і бенз(а)пірен, об'ємна частка, хроматографія, канцерогени, спектрометр.

The improvement of methods and means of toxic components in exhaust gases of gasoline vehicles, catering to the airport

It has been proposed to improve existing methods and means of toxic components detection in discharge gases of gasoline automobiles supplying civil aviation airports operation at the expense of implementation of full flow systems of discharge gas sampling and sample analysis during automobiles tests on stands with chassis dynamometers on European drive cycle. Nitrogen oxides and carcinogens (benzopyrene) influence on cities environment condition is analyzed as well as new approaches of measuring of their amount during tests cycle are proposed.

Keywords: European driving cycle, nitrogen oxides and benzo(a)pyrene, volume fraction of, chromatography, carcinogens, spectrometer.