

УДК 504.054:656:62-73(045)

ЗНИЖЕННЯ ШКІДЛИВОГО ВПЛИВУ ВИКИДІВ МОТОРНОГО ТРАНСПОРТУ НА СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

І. Л. Трофімов, канд. техн. наук, доц.

Національний авіаційний університет

E-mail: troffi@ukr.net

Проаналізовано проблему забруднення атмосфери вихлопними газами моторного транспорту. Розглянуто питання впливу на стан атмосфери складу вихлопних газів різних видів моторних транспортних засобів та основні заходи і методи щодо зниження шкідливого впливу моторного транспорту на атмосферне повітря. Для очищення вихлопних газів моторної техніки запропоновано використовувати власне удосконалений метод осушування паливно-мастильних матеріалів, який полягає в тому, що замість генератора нейтральних газів, запропоновано використовувати вихлопні гази моторної техніки, які задалегідь очищуються від CO₂ в каталізаторах очищення вихлопних газів.

Ключові слова: атмосфера; вихлопні гази; автомобілі; літаки; залізничний транспорт; морський транспорт; паливо; нейтральний газ; каталізатори очищення; навколишнє середовище.

The problem of contamination atmosphere is analysed by the exhaust-gass of agile transport. The question of influence on the state atmosphere composition exhaust-gass different types of agile transport vehicles and basic measures and methods is considered in relation to the decline of harmful influence of agile transport on atmospheric air. For cleaning exhaust-gass of agile technique it is suggested to utilize the method drainage of fuel-lubrication materials, which consisted in that in place generator neutral gases is actually improved, it is suggested to utilize the exhaust-gass of agile technique, which preliminary clear up from CO₂ in the catalysts cleaning exhaust-gass.

Keywords: atmosphere; exhaust-gass; cars; airplanes; railway transport; marine transport; fuel; neutral gas; cleaning catalysts; environment.

Вступ

Дослідження, про які йдеться у статті, відносяться до галузі екології. Відкритим та актуальним питанням на сьогодні залишається проблема стану екології планети в цілому. Внаслідок науково-технічної революції людство потерпає від надмірного забруднення шкідливими речовинами навколишнього середовища: повітря, водних та земельних ресурсів. Зокрема транспорт є не останньою ланкою, яка становить реальну загрозу для атмосфери з позиції забруднення викидними газами та утворення «дірок» в озоновому шарі нашої планети.

З вирішенням проблем екологічної безпеки в Україні нерозривно пов'язані питання оцінки і зменшення несприятливого впливу об'єктів транспортної галузі на стан атмосферного повітря. У зв'язку з цим виникає необхідність вирішення актуальних екологічних проблем усім спектром транспортної, виробничої, інтелектуальної і соціальної діяльності за рахунок державної та галузевої систем екологічного управління.

Транспортний комплекс, що включає автомобільний, морський, водний, залізничний і авіаційний види транспорту — один з найбільших забрудників атмосферного повітря. Його вплив на навколишнє середовище виражається переважно у викидах в атмосферу токсикантів з відпрацьованими газами транспортних двигунів і шкідливих речовин від стаціонарних джерел, а

також у забрудненні поверхневих водних об'єктів, утворенні твердих відходів і дії транспортних шумів.

Звичайно, транспорт «не самотній» в своїй забруднюючій активності. З транспортом «змагаються» електро- і теплоенергетика, промисловість, сільське господарство і домогосподарства. Тому на транспорт припадає лише від 15 % до половини забруднень залежно від країни, виду транспорту і, власне, способу забруднення.

Проблема забруднення відпрацьованими газами є глобальною. У всьому світі кількість моторних транспортних засобів з кожним днем збільшується в геометричній прогресії. Погіршення стану навколишнього середовища, зниження імунітету населення, зростання багатьох інших захворювань — це далеко не повний список наслідків діяльності двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Аналіз літературних джерел за темою дослідження і постановка проблеми

Загальновідомо, що транспортний комплекс — одне з найпоширеніших джерел забруднення навколишнього середовища. Шкідливі речовини під час експлуатації автотранспорту потрапляють у повітря з вихлопними газами, випарами з паливних систем, а також при заправленні автомобілів паливом. На викиди оксидів вуглецю (вуглекислий газ і чадний газ) впливає також рельєф дороги та режим і швидкість руху авто-

мобіля. Забруднюючі викиди в атмосферу від залізничних, повітряних, водних транспортних засобів за об'ємом більш ніж на порядок менші викидів від автомобільного транспорту. Але вони також значно впливають на глобальне забруднення довкілля. Тому ці транспортні засоби теж потребують удосконалення задля зменшення їх негативного впливу на навколишнє середовище.

Відомим є той факт, що джерелами забруднення повітряного басейну під час експлуатації автотранспорту є ДВЗ, які викидають в атмосферу відпрацьовані гази та паливні випаровування. У відпрацьованих газах виявлено близько 280 компонентів продуктів повного та неповного згоряння нафтових палив, а також неорганічні сполуки тих чи інших речовин, які є в паливі.

Авторами праці [1] наведено дані, що рухаючись у середньому зі швидкістю 80–90 км/год, автомобіль перетворює у вуглекислоту стільки ж кисню, скільки 300–350 осіб. Річний вихлоп одного автомобіля — це 800 кг небезпечного оксиду вуглецю, 40 кг оксидів азоту і більше 200 кг різних вуглеводнів. Але також відомо, що допустима концентрація оксиду вуглецю в атмосферному повітрі не повинна перевищувати 1 мг/м^3 .

Автотранспорту відповідає приблизно 39 % викидів вуглеводнів в індустріально розвинених країнах. Автомобілі — основне джерело чадного газу (CO). Це одна із найбільш токсичних сполук, що негативно впливає на здоров'я людей. Крім того, в атмосферу виділяються оксиди азоту NO і N₂O. Двоокис азоту негативно впливає і на людину, і на рослини.

У верхніх шарах атмосфери озон — природний компонент (озоновий шар) — захищає землю від небезпечного космічного випромінювання. У нижніх шарах озон є забруднювачем, шкодить здоров'ю людей, природі, природним та штучним будівельним матеріалам. Формування приземного озону — непрямий наслідок забруднення, яке викликає автотранспорт. Він утворюється в результаті фотохімічних реакцій, в яких беруть участь оксиди азоту та вуглеводні [2].

Автори праці [3] узагальнили основні причини забруднення повітря від автотранспорту: поганий стан технічного обслуговування автомобілів; низька якість застосовуваного палива; наявність свинцевих домішок у бензині; нерозвиненість системи управління транспортними потоками; низький відсоток використання екологічно чистих видів транспорту.

У праці [3] також наведено факти, які показують, що забруднення повітря становить серйозну загрозу здоров'ю населення, сприяє зниженню якості життя. Вплив токсичних речовин, які забруднюють повітря, викликає такі захворювання:

рак, лейкемію, астму, ендокринні захворювання, респіраторні захворювання, алергію, серцево-судинні захворювання, хвороби печінки, хвороби жовчного міхура, хвороби органів чуття.

На сьогодні основними заходами щодо зниження шкідливого впливу автотранспорту на атмосферне повітря є: перехід автомобілів на газове паливо; використання альтернативних видів палива, наприклад скрапленого нафтового газу, природного газу, етанолу, метанолу і метану; використання присадок для покращення технологічних та екологічних характеристик палива; раціональна організація перевезень та руху; вдосконалення доріг; більш детальний вибір парку рухомого складу і його структури; оптимальна маршрутизація автомобільних перевезень; організація і регулювання дорожнього руху; раціональне керування автомобілем; удосконалення ДВЗ та постійна їх підтримка у справному технічному стані.

Залізничний транспорт впливає на природне середовище усіх кліматичних зон і географічних поясів України. Але порівняно з автомобільним, залізничний транспорт чинить менш істотний негативний вплив на атмосферне повітря [4]. У першу чергу, це пов'язано з тим, що потяги — найбільш економічний вид транспорту за витратою енергії на одиницю роботи. Проте перед залізничним транспортом серйозно поставлені проблеми зменшення і попередження негативно-го впливу на довкілля.

Як відомо, тепловоз — це локомотив, силовим пристроєм якого є ДВЗ (дизельний двигун). Двигуни внутрішнього згоряння являють собою теплові машини, у яких хімічна енергія палива перетворюється в теплову, а потім в механічну роботу.

Основним джерелом забруднення атмосфери є відпрацьовані гази дизелів тепловозів. У них містяться *оксид вуглецю, оксид і діоксид азоту*, різні вуглеводні, сірчистий ангідрид, сажа. Вміст сірчистого ангідриду залежить від кількості сірки в дизельному паливі, а вміст інших домішок — від способу його спалювання, а також способу надуву і навантаження двигуна.

Отже, потяги хоча і впливають негативно на довкілля, але, порівняно з автомобільним транспортом, вплив значно менший, тому що на одиницю енергії, яка виділяється при спалюванні одиниці палива, виконується більша робота.

Зниження викидів шкідливих речовин ДВЗ тепловозів можна досягти застосуванням таких методів: рідинної та полум'яної нейтралізації; ежекційного опалювання (тобто, опалювання вихлопних газів); використанням каталізаторів; подачею повітря у випускний колектор (оптимі-

зує згоряння палива і підвищує потужність); застосуванням антидимових фільтрів тощо.

Зниження вмісту шкідливих речовин у викидах ДВЗ можна забезпечити і за рахунок застосування присадок до пального: метанолу, водню, скрапленого газу та емульсій (забезпечують економію пального, істотно зменшують викид з відпрацьованими газами оксидів азоту NO_x (на 27–38 %) і димового аерозолу (на 40–76 %).

Взагалі, зменшення кількості шкідливих викидів у відпрацьованих газах можливе завдяки поліпшенню технології горіння палива у ДВЗ, ходу локомотива та всіх елементів залізниці.

Паливом для суднових ДВЗ слугують здебільшого нафтопродукти: бензин, солярове масло, моторне паливо тощо. За кордоном, у країнах, де немає своєї нафти, застосовуються також продукти перегонки кам'яного вугілля: бензол, кам'яновугільні смоли. До складу рідких палив входять: вуглеці, водень, кисень, азот, сірка. Основними з них є вуглець і водень.

Гази CO , CO_2 , C_xH_y важчі за повітря і накопичуються на поверхні водного середовища. CO і газоподібні вуглеводні викиди суднових теплових двигунів беруть участь в окиснювальних реакціях і в кінці перетворюються в CO_2 , наявність якого в атмосфері викликає парниковий ефект.

Аналіз праці [5] дав змогу встановити, що повітряні кораблі забруднюють приземні шари атмосфери відпрацьованими газами авіаційних двигунів поблизу аеропортів і верхні шари атмосфери на висотах крейсерського польоту. Гази становлять 87 % усіх викидів цивільної авіації, які містять також атмосферні викиди спецавто-транспорту та стаціонарних джерел.

Відповідно до джерела [6] особливості впливу повітряних суден на довкілля пов'язані, поперше, з тим, що сучасний парк літаків та гелікоптерів має газотурбінні двигуни.

По-друге, газотурбінні двигуни працюють на авіапаливі, хімічний склад якого дещо відрізняється від автомобільного бензину та дизельного палива кращою якістю з меншим вмістом сірки та механічних домішок.

По-третє, головна маса відпрацьованих газів викидається повітряними суднами безпосередньо у повітряному просторі на відносно великій висоті, при високій швидкості та турбулентному потоці, і лише невелика частка — у безпосередній близькості від аеропортів та населених пунктів. Загальний викид токсичних речовин повітряними апаратами може бути приблизно оцінений об'ємом споживаного авіацією палива, котрий становить близько 4 % від загальних витрат палива усіма видами транспорту. Отже, частка забруднень авіатранспортом поза зоною

аеропорту відносно невелика, але уточнені дані відсутні.

Також, за даними джерел [6], найбільше забруднення довкілля відбувається в зоні аеропортів під час посадки і зльоту літаків, а також при прогріванні двигунів. Підраховано, що при 300 зльотах і посадках трансконтинентальних авіалайнерів за добу в атмосферу надходить близько 3,7 т оксиду вуглецю, 2 т вуглеводневих з'єднань і 1,7 т оксидів азоту. При цьому забруднювальні речовини потрапляють в атмосферу не рівномірно, а залежно від графіка роботи аеропорту. Під час роботи двигунів на зльоті і посадці в довкілля надходить найбільша кількість оксиду вуглецю і вуглеводневих з'єднань, а в процесі польоту — максимальна кількість оксидів азоту. Реактивному лайнеру, що здійснює трансатлантичний переліт, потрібно від 50 до 100 т кисню. Але самим небезпечним визнано те, що під час польоту в нижніх шарах стратосфери двигуни надзвукових літаків виділяють оксиди азоту, що призводять до окиснення озону, який відіграє роль щита проти негативної дії ультрафіолетових сонячних променів.

Авторами праці [7] доведено, що актуальними є методи підвищення екологічних властивостей авіаційного палива за рахунок підвищення його якості. Підвищити екологічні показники палива можна за рахунок зменшення в ньому вмісту сірки, ароматичних вуглеводнів (особливо бензолу), фактичних смол, олефінів та свинцю. А також шляхом додавання відповідних присадок, наприклад, іонол (у вітчизняному асортименті — Агідол-1). Провівши ряд дослідів, автори дійшли висновку, що перехід України на паливо марки Jet A, пов'язаний з раціональним використанням нафтопродукту, не змінить екологічні показники палива, якщо не будуть проведені зміни в камерах згоряння.

Загально відомо, що для авіаційного транспорту розглянуту проблему покращення екологічних показників емісії авіаційних двигунів доцільно вирішувати у таких трьох напрямках: хімічному, конструкційному, економічному. Хімічний напрям ґрунтується на удосконаленні вуглеводневого складу палива та додаванні певних присадок і добавок, конструкційний — на удосконаленні процесу горіння палива в камері згоряння та удосконаленні самої камери згоряння, економічний — на зниженні витрат палива за рахунок зменшення злітної маси, опору літака, підвищення чистоти двигуна, зниженого ешелонування, а також ефективного пілотуванні повітряного судна в зоні аеропорту.

Проведений аналіз літературних джерел показав, що транспортні засоби з ДВЗ призводять до

забруднення атмосферного повітря. На сьогодні запропоновано багато методів щодо зменшення шкідливих викидів відпрацьованих газів транспорту в атмосферу. Але, оскільки усі відомі методи лише зменшують викиди в атмосферу, а не запобігають їм та, враховуючи стрімке зростання транспортних засобів з кожним роком, питання захисту атмосферного повітря від шкідливого впливу відпрацьованих газів моторних транспортних засобів залишається актуальним та відкритим.

Мета і завдання дослідження

Мета роботи — аналіз проблеми забруднення атмосфери моторним транспортом та удосконалення методу очищення вихлопних газів моторної техніки.

Основна частина

Питання зменшення шкідливих викидів в атмосферу від вихлопних газів транспортних засобів на сьогодні залишається відкритим і актуальним у всіх країнах світу. У цій роботі розглядається удосконалення методу, який з одного боку, пропонується для очищення вихлопних газів моторних транспортних засобів, з іншого — для зневоднення та знекиснення палив.

Відомо, що зберігання палив у баках транспортних засобів, резервуарах АЗС та цистернах сухими практично неможливо, оскільки кожна з місткостей повинна бути з'єднана з атмосферою для попередження зминання чи розриву своєї поверхні у разі збільшення чи зниження тиску, викликаного коливаннями температури. Але з'єднання з атмосферою веде до перебування палива у постійному контакті з вологим повітрям. У разі потрапляння вологи до баку транспортно-го засобу паливо обводнюється і, тим самим, погіршує свої фізико-хімічні та експлуатаційні властивості. Вирішення проблеми з обводнення палив і олів можливе лише за умови широкого впровадження нових технологій зберігання палива, які мають зменшувати виділення шкідливих речовин у повітря, а також запобігати обводненню. Для зневоднення палива використовують багато різних методів, які базуються на процесах хімічного, фізико-хімічного та фізичного характеру. Одним із широко відомих методів боротьби з наявністю води у паливі є масообмінний [8]. Відомо декілька схем, які ґрунтуються на цьому методі.

Перша схема — це осушення палива шляхом продування крізь нього повітря, але вона не набула широкого застосування, оскільки призводить до значних втрат легких фракцій нафтопродуктів, які виносяться разом з повітрям, що також призводить до забруднення палива атмосферним пилом та збільшення концентрації кис-

ню в паливі. Це також призводить до додаткових витрат на очищення та відновлення якості палива. Друга схема — продування повітрям надпаливного простору резервуара, цистерни, місткості для зберігання. Ця схема має такі ж недоліки, як і попередня. Також досить відомим масообмінним методом є осушування палив за допомогою виморожування, але він не набув широкого застосування, оскільки є малоефективним, дорогим та тривалим.

Для вирішення проблем обводнення та окиснювання паливно-мастильних матеріалів авторами праць [9, 10] було запропоновано схему осушування. Науковцям вдалося за рахунок сконструйованої схеми осушування палив нейтральним газом вирішити низку таких завдань: зневоднення палив і олів; збереження фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей паливно-мастильних матеріалів; зниження окиснювальних процесів; забезпечення пожежної безпеки.

Отже, перелічені переваги цієї системи осушування палив є важливими і актуальними у наш час, коли всі передові країни взяли вектор розвитку на більш економічні та екологічні технології. Вищенаведена схема осушування та зневоднення палив за допомогою нейтрального газу має один робочий елемент (генератор нейтрального газу), який потребує постійної подачі електричного струму та не є безпечним з погляду впливу на навколишнє середовище і обслуговуючий персонал, що частково знижує загальну ефективність запропонованого методу. Зазначений генератор нейтрального газу дає змогу одержувати суміш газів такого складу: 76–78 % N_2 , 20–22,5 % CO_2 , 1,5–0,4 % CO , 0,25–0,5 % H_2 .

У цій статті пропонується удосконалити відому схему зневоднення та знекиснення паливно-мастильних матеріалів шляхом вилучення з неї генератора нейтрального газу та заміни його на каталізatori очищення вихлопних газів ДВЗ з метою отримання відносно нейтрального газу. Більш того, удосконалену схему, в першу чергу, варто використовувати для очищення вихлопних газів транспортних засобів. У цьому випадку отримаємо не тільки покращення експлуатаційних властивостей палив, а й очистимо вихлопні гази транспортних засобів із ДВЗ і цим самим зменшимо шкідливі викиди в атмосферу.

Каталізatori, про які йдеться вище, розроблені групою дослідників Національного авіаційного університету під керівництвом професора Запорожця О. І. і призначені для очищення вихлопних газів ДВЗ від шкідливих викидів, у тому числі від оксидів вуглецю [11].

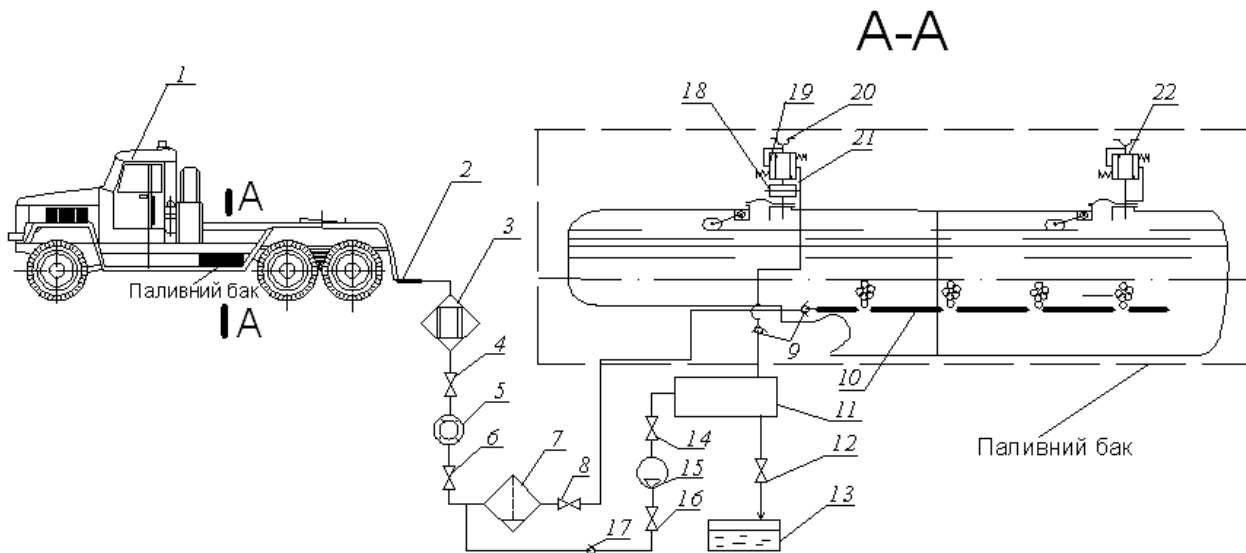
Відомі також вітчизняні та закордонні аналоги каталізatori [12–14], які за принципом дії

дуже схожі, а також придатні для використання у запропонованій нижче схемі. Каталізатори, описані в праці [11], виготовляють зі шламів — відходів виробництва металургійної, електронної та машинобудівної промисловості, які містять оксиди міді, заліза, хрому, нікелю, марганцю, кобальту та інших металів.

Зазначені оксиди знаходяться в шламі у вискодисперсному стані. Додаючи до них неорганічні домішки при визначеній обробці, можливо

отримувати ці каталізатори. Для досягнення цієї мети головним є те, що ці каталізатори дозволяють забезпечувати очищення вихлопних газів автомобілів від CO_2 до 6–0 % і таким чином отримати відносно нейтральний газ, збагачений оксидами азоту, CO та H_2 .

Для вирішення поставлених завдань запропоновано схему осушування палив нейтральним газом в умовах експлуатації моторної техніки, показано на рисунку.



Принципова схема осушування паливно-мастильних матеріалів за допомогою нейтрального газу:

- 1 — автомобіль-тягач; 2 — вихлопна труба; 3 — блок каталізаторів; 4, 6, 8, 12, 14, 16 — засувки (вентилі); 5 — лічильник; 7 — вологовідділювач; 9, 17 — зворотний клапан; 10 — газовий колектор; 11 — газгольдер; 13 — відстійний бак; 15 — компресор; 18 — датчик; 19 — клапан перемикання; 20 — трубопровід для виходу повітря; 21 — трубопровід для підводу газової суміші; 22 — дихальний клапан

Для кращого розуміння процесу та принципу дії як транспортний засіб для прикладу, вибрано автомобільний. Хоча зрозуміло, що запропонований метод дуже легко реалізується і на залізничному, і на морському та річковому транспорті з ДВЗ. Логічно припустити використання описаного нижче методу і на авіаційному транспорті.

В основу запропонованого методу покладено праці [15, 16].

Вихлопні гази автомобіля 1 з вихлопної труби 2 подаються до блоку каталізаторів 3, де вихлопні гази очищуються від CO_2 . Далі суміш газів проходить крізь лічильник 5. На виході одержуємо вологий N_2 , який осушується, проходячи вологовідділювач 7. Далі газ потрапляє до газового колектора 10, з якого починається барботування палива в бак транспортного засобу. На даху баку вмонтовано датчик 18, який контролює хімічний склад надпаливного простору.

При визначенні газу N_2 він подає команду на перемикання клапана 19, який з'єднаний із двома трубопроводами (для виходу повітря 20 та для

відведення газової суміші 21). Після проходження суміші по трубопроводу 21 вона потрапляє до газгольдера 11, де протікає процес конденсації, в результаті чого одержуємо вологий газ N_2 та конденсат води з паливом. Цей конденсат зливається до відстійного бачка 13, а вологий газ N_2 за допомогою компресора 15 іде на повторне використання.

Дану схему можна, а також набагато доцільніше використовувати у більш простому та економічному режимі: після вологовідділювача 7 подавати N_2 у газовий колектор 10 для барботування палива у баці. Щоправда, у цьому випадку нам потрібно на паливному баці у верхній частині вмонтовувати дихальний клапан 22, або щоб бак зверху мав невеликий дренажний отвір. Далі N_2 , як надлишковий газ, буде виходити з верхньої частини бака в атмосферу крізь дихальний клапан 22. У цьому випадку виключається необхідність наявності компресора 15, газгольдера 11, бачка 13 та трубопроводу 21, але отримуємо менший ефект.

Висновки

Для очищення вихлопних газів моторних транспортних засобів запропоновано використувати, власне, удосконалений метод осушування паливно-мастильних матеріалів. Переваги запропонованого методу над відомими полягають у тому, що із загальновідомої схеми вилучено генератор нейтрального газу та замінено його на каталізатори очищення вихлопних газів з підведенням до них вихлопних газів моторних транспортних засобів. Відповідною перевагою є і те, що удосконалений метод пропонується використовувати на транспортних засобах в умовах їх експлуатації, а також зменшити вміст чадного газу, двоокису вуглецю та оксидів азоту у вихлопних газах.

Удосконалений метод дає змогу вирішити низку таких завдань: зневоднення палив, збереження фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей палив, зниження окиснювальних процесів, забезпечення пожежної безпеки під час експлуатації, зниження втрат нафтопродукту від випаровування, зменшення витрат нейтрального газу, захист навколишнього середовища. Удосконалений метод відповідає сучасним технічним та екологічним вимогам, має невисоку вартість устаткування і низьку вартість експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Данилевич Я. Б. Системні рішення проблем екологічної безпеки автотранспортного комплексу, як метод покращення екологічної ситуації у мегаполісах / Я. Б. Данилевич, В. Я. Денисов // Доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. «Автотранспорт: від екологічної політики до щоденної практики». — К. : ЦУЛ, 2005. — 200 с.
2. Франчук Г. М. Екологія, авіація і космос: підручник / Г. М. Франчук, В. М. Ісаєнко. — К. : НАУ, 2010. — 456 с.
3. Архіпова Г. І. Аналіз впливу відпрацьованих автомобільних газів на стан атмосферного повітря в густонаселених районах / Г. І. Архіпова, І. С. Ткачук, Є. І. Глушков // Вісник НАУ. — 2009. — № 1. — С. 78–83.
4. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://Eco-logylife.ru>.
5. Программы создания и развития перспективных двигателей. Разработка экологически чистых двигателей в Германии / Экспрес-информация: «Авиационное двигателестроение», 2010. — №5. — С. 1–2.
6. Екологічна оцінка впливу авіаційних транспортних процесів на якість компонентів довкілля / Г. М. Франчук, А. М. Антонов, С. М. Маджд, Я. В. Загоруй // Вісник НАУ. — 2006. — № 1. — С. 184–190.
7. Makdonal'd A. J., Bennet R. R., Khinshou J. K., Barns M. U. Rockets with engines on a chemical fuel: influence on the environment // The Aerospace technique. — 2007. — P. 96.
8. Мікульонок І. О. Механічні, гідромеханічні й масообмінні процеси та обладнання хімічної технології: навч. посіб. / І. О. Мікульонок. — 2-ге вид., перероб. і допов. — К. : ІВЦ «Політехніка», 2002. — 304 с.
9. Белянський В. П. Обработка авиаГСМ нейтральным газом и источники его получения / В. П. Белянський, А. М. Гречкин., В. В. Ефименко // мат. научн.-техн. конф. — К. : КМУГА, 1998. — С. 45–48.
10. Дровнін С. С. Способи зневоднення нафтопродуктів / С. С. Дровнін // III Міжнар. наукова конф. «Авіа-2001» (Київ, 2001): Тези доп. — К. : НАУ, 2001. — Т. 4. — С. 41.37.
11. Розробка конструкції каталізатора для зменшення забрудненості вихлопних газів двигунів / Звіт про науково-дослідну роботу № 951-ДБ00. — К. : НАУ, 2001. — 34 с.
12. Исследование влияния технологии приготовления катализатора на распределение каталитически активного вещества по поверхности носителя / А. Я. Лобойко, В. А. Векшин, Н. Б. Маркова, М. И. Ворожбян [и др.] // Технологія каталізаторів і сорбентів — 2010. № 10. — С. 59–62.
13. Orlyk S. M., Soloviev S. O. Palladium in Gas-Phase Processes of Environmental Catalysis in «Palladium: Compounds, Production and Applications», Series: Material Science and Technology (Ed. Kenneth M. Brady), p. 57–103, Nova Science Publishers, 2011, 356 p.
14. Rashidzadeh M., Peyrovi M. H., Mondegarian R., React. Kinet. and Catal. Lett., 2000, 69 (1), 115.
15. Трофімов І. Л. Удосконалення методу осушування паливно-мастильних матеріалів за допомогою нейтрального газу / І. Л. Трофімов // Східно-Європейський журнал передових технологій (Екологія і матеріалознавство). — 2013. — вип. 6/10№66/2013. — С. 20–24.
16. Заявка на корисну модель України u201406118 МПК 7 B01D3/32, B01D53/26. Спосіб осушування паливно-мастильних матеріалів за допомогою нейтрального газу / І. Л. Трофімов, О. М. Зубченко // заявл. 04.06.14.

Стаття надійшла до редакції 19.06.2014.