

Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт
з галузей знань і спеціальностей у 2018/2019 навчальному році

Галузь знань (спеціальності): «Автомобільний транспорт»

**Тема: «Зменшення токсичності відпрацьованих
газів дизельних двигунів»**

Шифр: «Токсичність»

АНОТАЦІЯ

наукової роботи під шифром: «Токсичність»

Актуальність роботи полягає у впровадженні новітніх підходів з удосконалення екологічних та економічних показників роботи дизельних двигунів.

Об'єкт дослідження - економічні та екологічні показники роботи дизеля.

Метою роботи – теоретично обґрунтувати та дослідити наявні системи зниження концентрації шкідливих речовин у ВГ з позицій їхньої економічності та екологічної безпеки.

Завдання наукової роботи - провести аналіз систем, що дозволяють знизити кількість шкідливих викидів ВГ при переобладнанні дизельного двигуна;

Загальна характеристика наукової роботи : вступ, 3 розділи, друкованих сторінок - 16, рисунків - 4, наукових джерел - 9.

Ключові слова: БЮДИЗЕЛЬ, ВІДПРАЦЬОВАНІ ГАЗИ, ГАЗ, ДИЗЕЛЬНИЙ ДВИГУН, ЕКОЛОГІЧНА ТА ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ, НОРМИ ТОКСИЧНОСТІ, СИСТЕМИ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ.

ABSTRACT

scientific work under the code: "Toxicity"

The relevance of the work lies in the introduction of innovative approaches to improve environmental and economic performance of diesel engines.

Object of research - economic and ecological performance of a diesel.

The aim of this work is to justify theoretically and to research available systems to reduce the concentration of hazardous substances in SH from the standpoint of economic efficiency and environmental safety.

Task of research - to analyze systems that reduce the amount of harmful GHG emissions through the conversion of the diesel engine;

General characteristics of scientific work : introduction, 3 sections, 16 printed pages, drawings-4, scientific sources - 9.

Key words: BIODIESEL, WASTE GASES, natural GAS, DIESEL ENGINE, ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC FEASIBILITY, the RULES of TOXICITY, SYSTEM of NEUTRALIZATION of EXHAUST GASES.

ЗМІСТ

| | Стор. |
|---|-------|
| ВСТУП | 2 |
| 1. Стан питання | 4 |
| 2. Пропозиції щодо зниження токсичності | 5 |
| 2.1 Дообладнання двигуна додатковими конструкціями | 5 |
| 2.2 Особливості застосування різних типів пального | 7 |
| 3.1 Переваги та недоліки застосування біодизелю сумісно з однією чи кількома системами зниження токсичності | 9 |
| Висновки | 15 |
| Список використаних джерел | 16 |

ВСТУП

Унаслідок забруднення довкілля шкідливими речовинами з відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння, зоною екологічного лиха для населення стають цілі регіони, особливо великі міста. У ВГ дизельних двигунів можна виділити чотири основні шкідливі компоненти, що найбільш негативно впливають на стан довкілля та здоров'я людини: оксид вуглецю, вуглеводні, сажа та оксиди азоту. Якщо зниження концентрації перших трьох компонентів на сьогодні не є проблемою завдяки конструкції та оснащенню сучасних двигунів, то з оксидами азоту справи більш серйозні, оскільки зменшення його кількості у викидах і досі є нагальним та актуальним питанням для екологів та виробників. Причому проблема полягає не стільки у винайденні технології цього зниження (адже на сьогодні їх удосталь), скільки в доборі варіанта, оптимального за екологічними та економічними показниками, оскільки матеріальний бік є вкрай важливим для більшості споживачів, які через брак коштів і високі ціни починають нехтувати станом навколишнього середовища.

Усі двигунобудівні компанії та всі провідні виробники тракторів і інших мобільних машин поступово модернізують свою продукцію з метою дотримання вимог екологічних стандартів. Україні також потрібно вводити стандарти ЄС та США, особливо ЄС у рамках політики інтеграції до Європейського Союзу.

Мета і задачі дослідження – теоретично обґрунтувати та дослідити наявні системи зниження концентрації шкідливих речовин у ВГ з позицій їхньої економічності та екологічної безпеки. Проведення аналізу систем, що дозволяють знизити кількість шкідливих викидів ВГ при переобладнанні дизельного двигуна;

Об'єктом дослідження є економічні та екологічні показники роботи дизеля.

Предметом дослідження є системи зниження концентрації шкідливих речовин.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в обґрунтуванні та впровадженні новітніх технологій зниження вмісту токсичних речовин у ВГ дизельних двигунів.

Практичне значення отриманих результатів. Впроваджена стратегія надасть змогу зменшити концентрацію шкідливих викидів в атмосферу і водночас дібрати економічно доцільне обладнання для транспортного засобу відповідно до найсучасніших вимог екологічної безпеки.

1. Стан питання

Зі збільшенням кількості транспорту у світі неминуче зростає й рівень викидів шкідливих речовин в атмосферу. Сьогодні екологія потерпає від різних забруднювачів і чинників, які негативно впливають на екологічний стан довкілля.

З метою забезпечення конкурентоспроможності транспортного засобу виробники дедалі більше оснащують їх двигунами з великим ККД.

Як зауважують дослідники заходів, спрямованих на покращення екологічного стану довкілля, для всіх країн світу актуальні екологічні проблеми, пов'язані з використанням традиційного дизельного пального в двигунах автомобільних засобів. «Сьогодні в багатьох країнах світу прийняті жорсткі екологічні вимоги ЄВРО щодо викидів шкідливих речовин від транспортних засобів в атмосферу. У результаті з 1993 року по 1999 рік кількість шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобілів за кордоном знизилась приблизно в 3 рази, а разом за останні 40 років вміст токсичних компонентів зменшився на 70 %. Уже зараз багато закордонних автобудівних фірм працюють над вирішенням проблеми нульового рівня токсичності відпрацьованих газів. Їхній досвід показує, що досягти цього можна тільки у випадку використання альтернативного до нафтового виду пального. Тому практично всі перспективні екологічно чисті автомобілі проектуються із споживанням альтернативних видів пального». Україна також бере участь у покращенні екологічного стану довкілля, бореться із забрудненням навколишнього середовища, запроваджуючи законопроекти, що регламентують норми шкідливих викидів в атмосферу для транспорту з різними типами двигунів, зокрема, з дизельними.

2. Пропозиції щодо зниження токсичності

У зв'язку із запровадженням усе більш жорстких екологічних норм виробникам автотранспорту та палива доводиться застосовувати різноманітні технології, системи і агрегати для зниження викидів дизелями шкідливих речовин. Умовно можна поділити їх на дві підгрупи:

1) технології, пов'язані з установленням на існуючий двигун додаткового обладнання з метою зниження шкідливих викидів у навколишнє середовище;

2) заходи щодо зниження токсичності пального шляхом уведення в його склад різних компонентів (насамперед біологічного походження).

Видається необхідним більш детальний аналіз названих підгруп заходів зі зниження токсичності дизелів.

2.1 Дообладнання двигуна додатковими конструкціями

Сьогодні задля досягнення відповідності жорстким вимогам екологічності сучасні двигуни переобладнують різними шляхами, зокрема, оптимізують їхню конструкцію, удосконалюють систему управління, паливну апаратуру, а також установлюють додаткові підсистеми зниження токсичності вихлопних газів. Крім того, необхідно застосовувати відповідне пальне.

До додаткових конструкцій, що дозволяють знизити рівень вихлопів дизельного двигуна, належать насамперед система рециркуляції ВГ EGR (ExhaustGasRecirculation), система селективної (вибіркової) каталітичної нейтралізації ВГ відновлення із застосуванням реагенту (мочевини) SCR (SelectiveCatalystReduction), сажовий фільтр DPF (DieselParticulateFilter), турбокомпресор зі змінною геометрією VGT (VariableGeometryTurbine), акумуляторна система паливоподачі HPCR (High-Pressure CommonRail) характеризується підвищеним тиском впорскування палива від 120 МПа (перше покоління) до 220 МПа (четверте покоління), інтеркулер радіатора типу «повітря-повітря» (забезпечує проміжне охолодження повітря), а також технології вдосконалення процесу згоряння за рахунок розроблення

ефективніших камер згоряння, використання спеціальної моторної оливи, нові ущільнення клапанів тощо.

На графіку нижче продемонстровано ефект від впровадження підсистем зниження токсичності на відповідні параметри викидів [9].

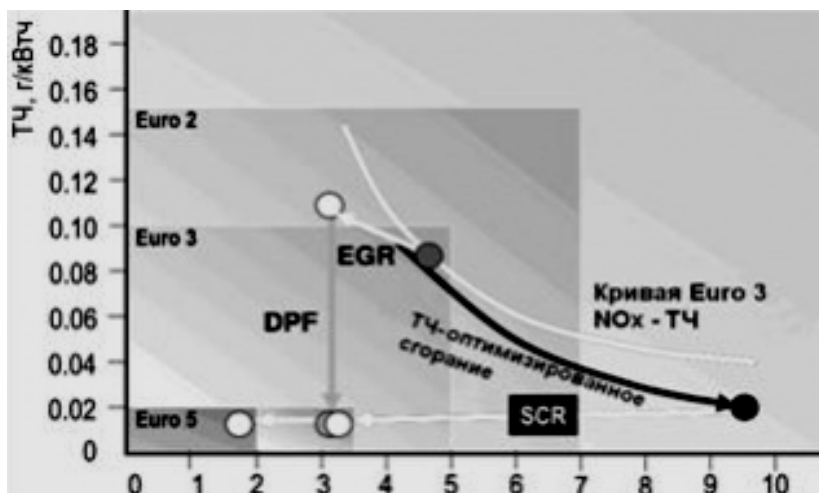


Рис.2.1 – Ефект від впровадження підсистем зниження токсичності на різні параметри викидів: NO_x – оксиди азоту, ТЧ – тверді часточки (у т. ч. сажа).

Завдяки конструкції **турбокомпресора зі змінною геометрією** та **аккумуляторної системи паливоподачі** знижується витрата пального, що призводить у свою чергу до зменшення токсичних викидів в атмосферу.

У транспортних засобах, обладнаних системою турбонаддуву здебільшого використовують також **радіатор інтеркулера** – який охолоджує повітря до $50\text{--}60^\circ\text{C}$, підвищуючи тим самим його якісні характеристики. Повітря краще наповнює циліндри, а отже, збільшує потужність двигуна. Відзначимо, що зниження температури повітря лише на 10°C дозволяє збільшити потужність на 3%. Крім того, за використання інтеркулера процес згоряння пальної суміші відбувається більш ефективно, супроводжуючись економією палива, а разом з тим і суттєвим зниженням шкідливих викидів в атмосферу. До речі, загальна ефективність від установа інтеркулера може сягати 20% збільшення потужності силового агрегату [9].

Для вловлювання часточок сажі, що утворюються під час роботи системи рециркуляції ВГ, рекомендується застосовувати **сажовий фільтр**,

функції якого полягають у вловлюванні та спалюванні твердих часток із вихлопних газів.

Найчастіше до складу сажового фільтра входить датчик перепадів тиску, необхідний для контролю за наповненістю фільтра. Показання датчика дозволяють установити момент необхідної регенерації фільтра шляхом його нагрівання до температури близько 700°C, унаслідок чого тверді часточки, що потрапили до його каналів, вигоряють, утворюючи газоподібні оксиди вуглецю.

Для досягнення стандартів Євро-5 широко застосовується **система вибіркової каталітичної нейтралізації**, що передбачає використання спеціального не пахучого розчину AdBlue на основі дистильованої води і мочевини високого ступеня очищення, який упрскується у вихлопні газы перед тим, як вони проходять каталітичний нейтралізатор.

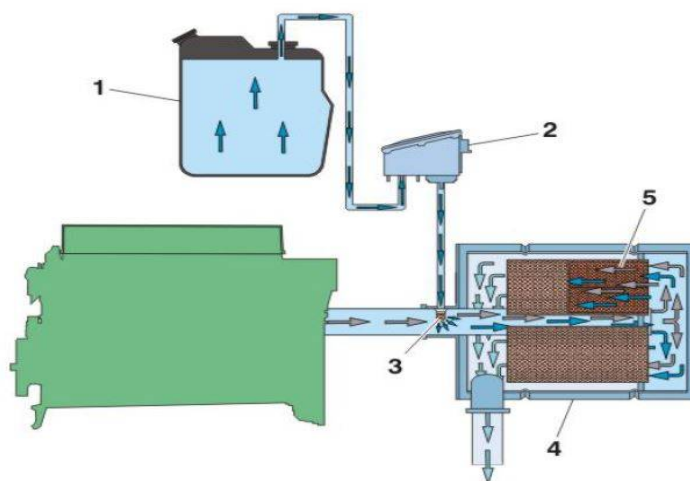


Рис.2.2 – Система вибіркової каталітичної нейтралізації в дії: 1 – бак AdBlue; 2 – насосний блок; 3 – блок дозування; 4 – глушитель; 5 – каталітичний нейтралізатор SCR

2.2 Особливості застосування різних типів пального

Удосконалення систем із зменшення токсичності ВГ ще не дає гарантії того, що їхня токсичність відповідатиме встановленим нормам. Для отримання високих результатів щодо зниження токсичності ВГ потрібно паралельно підвищувати якість пального.

Не менш поширеним типом нетоксичного пального є біодизель, який

характеризується низкою позитивних факторів, зокрема так званою «біологічною нешкідливістю», нижчим рівнем викидів CO₂, високим цетановим числом, малим вмістом сірки, добрими змащувальними характеристиками тощо.

За даними, які є в нашому розпорядженні, країни Європи, використовуючи суміш біодизельного та нафтового пального, до мінімуму знизили викиди токсичних речовин. Так, із застосуванням екологічних норм «Євро-2», «Євро-3», «Євро-4» та «Євро-5» суміш біодизельного пального і нафтового дизельного пального у співвідношенні 20:80 (20% біопального і 80% нафтового пального) дає можливість знизити викиди шкідливих речовин транспортних засобів приблизно на 20%[2].

Сьогодні для дотримання екологічних норм «Євро» біодизельне паливо пропонують змішувати з нафтодизельним паливом у різних співвідношеннях. При цьому викиди шкідливих речовин знижуються прямо пропорційно до вмісту біопального. Так, при співвідношенні 30 % біопального до 70 % нафтодизельного палива викид шкідливих речовин може зменшитися на 30%, а при співвідношенні 50:50 – у середньому на 50%.

Уважаємо, що біодизельне паливо є найбільш придатним для застосування на території України, урахувавши економічну та екологічну ситуацію, у якій перебуває наша держава.

Зауважимо, що використання палива підвищеної якості «Євро-4» та «Євро-5» технікою, що не відповідає цим вимогам із токсичності ВГ, призводить лише до витрат на виробництво даних палив, а не до зниження токсичності відпрацьованих газів. А ефективне вирішення проблем екології можливе лише за комплексного вирішення питання у нерозривному ланцюзі «автомобіль – паливо».

3.1 Переваги та недоліки застосування біодизелю сумісно з однією чи кількома системами зниження токсичності

Із уведенням «Євро-2» і «Євро-3» широкого застосування отримала **система рециркуляції ВГ**, яка дозволила знизити рівень шкідливих викидів до норм, регламентованих названими стандартами. Попри свою поширеність та ефективність система рециркуляції ВГ має й низку недоліків, пов'язаних насамперед із забрудненням впускного колектора, каналів рециркуляції та клапанів сажею, яка міститься у вихлопних газах. Із часом забруднений клапан блокується й припиняє виконувати свої функції. Це призводить до порушення складу паливно-повітряної суміші і, як наслідок, втрати потужності та підвищенню димності вихлопу. Звичайного промивання клапана часто недостатньо – для вирішення ситуації необхідна його заміна.

Автовласник має два варіанти розв'язання проблеми неможливої регенерації сажового фільтра: його заміна або повне видалення. Оскільки сажовий фільтр коштує дорого, автовласники надають перевагу його видаленню із подальшою перепршивкою блока управління [2]

З огляду на перераховане вище більш економічно обґрунтованою і не менш ефективною видається технологія очищення ВГ завдяки **системі вибіркової каталітичної нейтралізації** із застосуванням мочевины, що є продуктом, синтезованим з аміаку і вуглекислого газу. Насамперед така система є актуальною та оптимальною в галузі сільського господарства, оскільки мочевина знайшла там широке розповсюдження. Зокрема, мочевина широко застосовується в сільському господарстві як добриво. Використовують сечовину також у промисловості, де з неї синтезують смоли для виготовлення деревно-волокнистих плит в меблевому виробництві. Нарешті, мочевина застосовується для очищення промислових вихлопів підприємств, теплових електростанцій, котелень і сміттєспалювальних заводів. Обсяги щорічного виробництва мочевины у світі досягають 100 млн тонн.

Крім того, система вибіркової каталітичної нейтралізації якнайбільше підходить для роботи саме з дизельними двигунами, оскільки у двигунах цього типу більш ефективно згоряння пального в поєднанні з очищенням ВГ

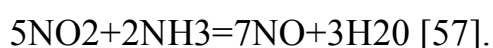
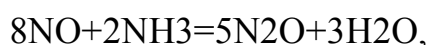
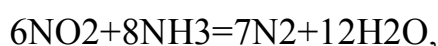
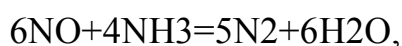
забезпечує значне зниження викидів оксидів азоту й твердих часток. Здійснене вдосконалення дизельних двигунів, таким чином, дозволило додатково підвищити ефективність згоряння пального. Електронний блок управління двигуна здійснює обчислення оптимальної кількості впорскування розчину AdBlue залежно від навантаження й обертів двигуна [6].

Наявність системи вибіркової каталітичної нейтралізації дозволяє досягти норм Євро-4 без використання технології рециркуляції. Крім того, її сумісне застосування з іншими системами зниження токсичності дозволяє досягти норм Євро-5 і Євро-6.

Розчин AdBlue в розпиленому стані впорскується у ВГ перед їх проникненням у каталітичний нейтралізатор. Під впливом високої температури в системі випуску розчин AdBlue розпадається на аміак та вуглекислоту. Активним елементом є аміак – найважливіший компонент хімічного процесу, що відбувається в каталітичному нейтралізаторі. Після реакції в каталізаторі оксиди азоту розкладаються, і на виході ми отримуємо нешкідливий азотний газ та водяні пари. Відзначимо, що хімічна реакція відбувається при температурах понад 200°C.

Регулювання об'ємів упорскування здійснює система EMS (система управління двигуном), що забезпечує оптимальне зниження викидів при будь-яких режимах роботи [6].

Розчин AdBlue майже не вступає в реакцію з киснем, що міститься в нітрозних газах, реагуючи насамперед із NO_x, у результаті чого відбуваються такі екзотермічні реакції:



Присутність у ВГ кисню сприяє каталітичному відновленню: реакції прискорюються, процес відбувається таким чином:

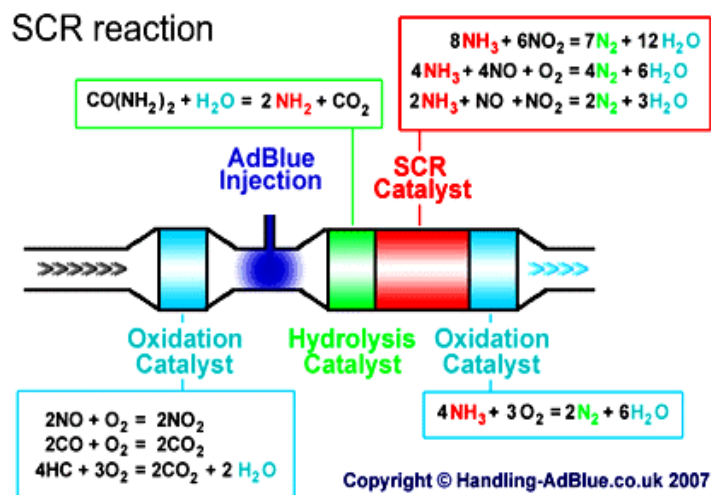
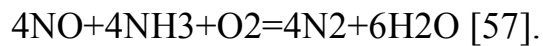


Рис.3.1 – Реакції, що відбуваються під час застосування системи вибіркової каталітичної нейтралізації

Нейтралізатор NO_x працює при температурі близько 180°C і використовує Adblue як відновлювач. Мочевина подається електричним насосом у форсунку дозування, де вона використовується в пропорції приблизно 1:20 (1 частина Adblue до 20 частин пального). Залежно від навантаження на двигун ця пропорція може збільшуватися або зменшуватися. Перед входом у каталізатор SCR впорскується Adblue, яка розкладається на CO_2 та аміак. Каталізатор розщеплює NO_x та аміак на азот і воду, причому зниження вмісту NO_x може сягати 80–90%.

На вході та виході з нейтралізатора встановлено датчики контролю температури ВГ. Контроль за ефективністю роботи каталізатора здійснюється за допомогою датчика концентрації оксидів азоту на виході з нейтралізатора.

Система обладнана блоком дозування реагенту, який здійснює постачання мочевины до випускної системи. До складу цього блоку входять насос, елементи дозування та фільтрації. Для рівномірного розподілу мочевины в потоці ВГ використовують мікшер. У баку мочевины встановлено датчик рівня реагенту з умонтованим датчиком температури. Впорскування суміші Adblue розпочинається при досягненні каталізатором робочої

температури за умови, що при низькій температурі докiлля забезпечується достатня кiлькiсть рiдкої мочевини. Впорскування мочевини припиняється за малого об'єму потоку ВГ (т. зв. холостий хiд), а також за наднизької температури ВГ.

Система SCR може бути представлена двома модифiкацiями:

- з електричним клапаном регулювання охолодження (бiльш рання модифiкацiя);
- без електричного клапана регулювання охолодження (бiльш пiзня модифiкацiя).

Бiльш якiсною та повноцiнною вважається система з наявним клапаном регулювання охолодження. На рисунку 3.2 представлено основнi компоненти такої системи iз зазначенням належних до неї трубопроводiв.

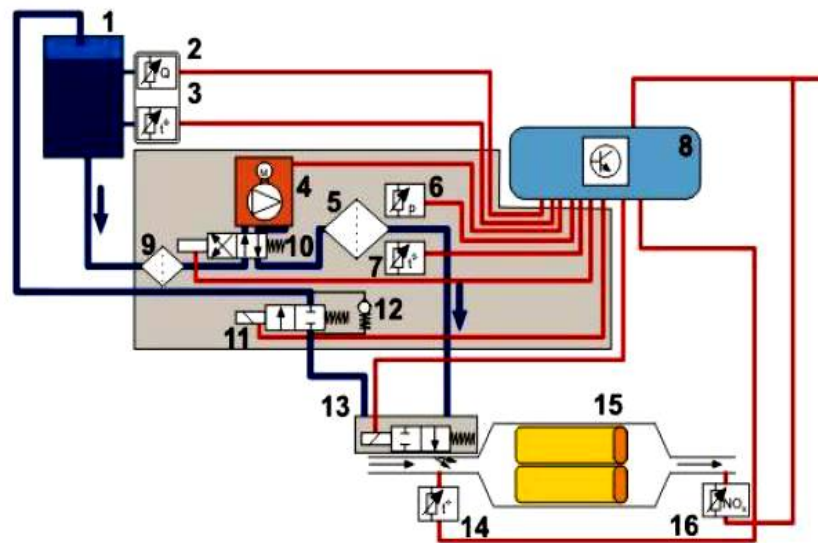


Рис.3.2 – Принципова схема системи з електричним клапаном регулювання охолодження: 1 – бак AdBlue; 2 – датчик рiвня розчину в баку AdBlue; 3 – датчик температури в баку AdBlue; 4 – насос постачання розчину AdBlue; 5 – фiльтр розчину AdBlue; 6 – датчик тиску розчину AdBlue; 7 – датчик температури розчину AdBlue; 8 – блок управлiння MID233 системою дозування AdBlue; 9 – фiльтр; 10 – гiдророзподiлювач; 11 – електричний клапан регулювання охолодження; 12 – зворотнiй клапан; 13 – блок дозування; 14 – датчик температури ВГ; 15 – каталiтичний нейтралiзатор; 16 – датчик оксидiв азоту NO_x (застосовується лише для OBD – бортового дiагностування).

Електроннi датчики необхіднi для контролю рiвня розчину, його

температури, кількості викидів ВГ тощо. У разі несправності або невідповідності названих показників нормі датчики сповіщують водія про виникнення проблеми.

Відповідно до кількості AdBlue, що впорскується у ВГ, кінцева суміш викидів буде більш або менш токсичною. Так, для досягнення норм «Євро-4» обсяг внесення розчину AdBlue становить 3–4% обсягу палива, а для досягнення вимог «Євро-5» – приблизно 5–7%. При цьому керування системою відбувається за допомогою електроніки, що контролює токсичність ВГ, їхню температуру, режим роботи двигуна, обчислюючи для цього потрібну кількість реагенту.

Датчик оксидів азоту NO_x (16) заміряє їхній вміст у ВГ. Якщо припустимий рівень токсичності не забезпечується, на приборній панелі загоряється сигнальна лампа, а в блоку управління двигуном реєструється код несправності.

Оскільки розчин AdBlue чутливий до температури, необхідним є постійний контроль за температурними показниками роботи системи. Цю функцію виконує спеціальний датчик (14).

При застосування системи вибіркової каталітичної нейтралізації необхідно зважати на деякі *особливості реагенту AdBlue*, пов'язані з його природним походженням. Зокрема, розчин має відносно високу температуру замерзання, що дорівнює -11°C при стандартній долі мочевины в 32,5%. Будь-яке відхилення від такої концентрації призводить до збільшення температури замерзання. Виправити ситуацію й уникнути замерзання реагенту допоможе підігрів системи постачання мочевины.

Цей процес може здійснюватися по-різному, як самостійними нагрівальними елементами, так і за допомогою системи охолодження транспортного засобу (у цьому разі застосовується клапан підігріву бака). Здебільшого транспортні засоби, оснащені системою SCR, мають у своїй будові електричний термоелемент, який і здійснює підігрів реагенту за низької температури навколишнього середовища: поки випускний

каталізатор прогрівається до робочої температури, рідина в баку розморожується та поступає в каталізатор. Зокрема, бак часто оснащений нагрівальним контуром, по якому проходить охолоджувальна рідина з двигуна. Крім того, шланги між баком і насосним блоком оснащені електропідігрівом, а муфти шлангів – теплоізоляцією [6].

Зауважимо, що слід бути обережними під час самостійного прогрівання бака з реагентом, оскільки за високих температур (близько 70°C–80°C) AdBlue розпадається, утворюючи аміак, що може призвести до появи неприємного запаху [6].

Крім того, з метою попередження ушкоджень через розширення рідини під час її замерзання відбувається опорожнення системи AdBlue після вимкнення запалення. При вимкненні двигуна насос подачі AdBlue зупиняється, унаслідок чого тиск реагенту падає. Блок управління закриває клапани охолодження та дозування й відкриває зворотній клапан. Гідророзподільувач знеструмлюється й перемикається на переток. Після цього вмикається насос, який опорожнює систему постачання AdBlue, закачуючи реагент у бак <http://tahografs.com/adblue/kak-rabotaet-sistema-scr-adblue/>.

Відзначимо й економічність використання розчину AdBlue, яка полягає в тому, що витрата реагенту варіюється залежно від моделі двигуна, але для забезпечення норм Євро-4 в середньому становить близько 4% від витрати дизельного пального [6]. Витрата AdBlue змінюється також залежно від умов руху [34].

Серед позитивних якостей реагенту можна назвати і його пожежобезпечність і нетоксичність. Незважаючи на це, під час роботи з AdBlue необхідно дотримуватись вимог техніки безпеки, застосовуючи гумові або латексні рукавички, оскільки за тривалого контакту можливі опіки шкірних покривів. Крім того, слід уникати виливань реагенту на підлогу чи ґрунт, оскільки поверхня розчину швидко стає слизькою, а отже, може бути причиною травмувань [6].

Розчин AdBlue має й інші хімічні особливості. Зокрема, він має властивість кристалізуватися на металевих поверхнях, спричиняючи появу на них корозії, тому слід уникати потрапляння названої рідини на деталі транспортного засобу. Зробити це буває досить важко, оскільки реагент має високу здатність до просочування. Крім того, рідина дуже чутлива до таких металів, як цинк, алюміній, мідь, чавун і латунь [6].

Висновки

Проаналізувавши особливості застосування реагенту AdBlue, можемо зробити такі висновки:

– наявність цієї системи в транспортному засобі зобов'язує водія весь час підтримувати рівень мочевины в баку, оскільки експлуатація автомобіля з порожнім баком заборонена. Таку вимогу подекуди важко реалізувати, оскільки інфраструктура продажів реагенту ще недостатньо розвинена навіть у країнах Європейського Союзу;

– застосування реагенту потребує виділення під нього окремого баку, а отже, й додаткового місця. З огляду на це, на наше переконання, систему SCR доцільно використовувати насамперед у сільськогосподарському транспорті, оскільки у великій за габаритами техніці легше знайти місце під окремий бак. Щодо дизельних легкових автомобілів, то ми не аналізуємо їх у межах нашого дослідження, оскільки вони поступово втрачають свою актуальність (як, до речі, і бензинові) у зв'язку з тим, що цей сегмент ринку активно починають завойовувати електромобілі, які за своєю собівартістю сьогодні вже наближуються до вартості бензинового дизельного автомобіля.

Список використаних джерел

1. Біліченко В. В. Перспективирозвитку газодизельних двигунів / В. В. Біліченко, М. Є. Мельник, С. В. Вакаренко // ВісникДонецькоїакадеміїавтомобільного транспорту : наук.журн. – Донецьк, 2012. – № 4. – С. 42-48.
2. Бурмака Г. Г. Производство альтернативных видов топлива и смазочных материалов с использованием растительных масел в Украине / Г. Г. Бурмака // Рынок нефти и нефтепродуктов на рубеже XXI века. – Киев, 2003. – Гл. 4.9. – С. 306–317.
3. Газодизель [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ngv.uz/ru/articles/149/>.
4. Газодизель. Системы питания газом двигателей с воспламенением от сжатия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.myshared.ru/slide/263622/>.
5. Грузовые автомобили и автобусы, альтернативное топливо. Метан [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://aftershock.su/?q=node/303575>.
6. Как работает система SCR (AdBlue) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://tahografs.com/adblue/kak-rabotaet-sistema-scr-adblue/>.
7. Калиниченко В. В. Разработка системы газоподачи для транспортного газодизельного двигателя : дис. ...канд. техн. наук : спец. 05.02.13 – машины, агрегаты и процессы (по отраслям) [Электронный ресурс] / В. В. Калиниченко. – Москва : [б. в.], 2001. – 135 с. – Режим доступа : <http://www.dissercat.com/content/razrabotka-sistemy-gazopodachi-dlya-transportnogo-gazodizelnogo-dvigatelya>.
8. Марков В. А. Характеристики топливоподачи транспортных дизелей / В. А. Марков, В. Г. Кислов, В. А. Хватов. – Москва : Изд-во МГТУ им. Баумана, 1997. – 160 с.
9. Назаренко М. Б. Покращення екологічних показників КТЗ переобладнанням дизелів в газодизелі в умовах експлуатації : автореф. дис.

...канд. техн. наук : спец. 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту / М. Б. Назаренко. – Київ : [б. в.], 2009. – 20 с.