

Колесник О. А., к.т.н., Стадник О. С., к.т.н. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## РОЗРОБКА СПОСОБУ ЗНИЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ВИКИДНИХ ГАЗІВ АВТОБУСІВ З ДИЗЕЛЬНИМИ ДВИГУНАМИ

Запропоновано спосіб зниження токсичності викидних газів автобусів з дизельними двигунами шляхом встановлення системи SCR. Технологія селективної каталітичної нейтралізації (Selective Catalytic Reduction), скорочено іменується SCR, заснована на вприскуванні водного розчину сечовини AdBlue у потік відпрацьованої суміші газів. При цьому елементи вступають у хімічну реакцію, в результаті якої на виході замість небезпечних оксидів азоту утворюються водяні пари і газоподібний азот. Пропонується встановити систему нейтралізації викидних газів SCR, аналогічну тій, яка використовується на автомобілі Volkswagen Crafter з двигуном TDI 2.5 л., на вітчизняний автобус Богдан А-092 з двигуном ISUZU 4HK1-XS з деякими поправками та рекомендаціями. Використання системи SCR на даному автобусі дозволить підтримувати рівень токсичності, який відповідає європейським нормам Євро-5. Прогнозується зменшення викидів CO на 22,1%, CH+NO<sub>x</sub> на 74,4%, NO<sub>x</sub> на 83,3%, сажі на 95%.

**Ключові слова:** дизельний двигун, викидні гази, оксиди азоту, нейтралізація, розчин AdBlue.

**Постановка проблеми.** Розглядаючи сучасні проблеми екології на автомобільному транспорті, а також методи їх вирішення, можна побачити, що в багатьох випадках великий відсоток викидів токсичних речовин відбувається внаслідок недосконалої системи викидних газів двигуна на автомобілях, що експлуатуються на території України.

Передові технології контролю викидів дозволяють ефективно скорочувати ресурсоспоживання і, відповідно, міське забруднення. Дизельні мотори відрізняються високою потужністю і нижчим споживанням палива, тому вони широко використовуються як при перевезенні пасажирів, так і вантажів, але оксиди азоту NO<sub>x</sub>, які в дизельних двигунах становлять істотну частину викидів, не проходять настільки ж ефективну обробку як у випадку бензинових двигунів,

так що розробка і впровадження ефективної технології обробки викидів дизельних двигунів є ключовими для виживання і розвитку двигунів внутрішнього згорання.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Вихлопи великовантажних автомобілів, що оснащуються дизельними двигунами, повинні відповідати вимогам екологічних стандартів Євро-4, Євро-5. Знизити кількість небезпечних викидів виробникам автотранспортних засобів дозволяє технологія SCR, запатентована Асоціацією автомобільної промисловості Німеччини (VDA).

Одним з обов'язкових компонентів даної технології є рідина, що випускається під торговою маркою AdBlue. Розчин готується на спеціалізованому обладнанні з демінералізованої води і сечовини. При цьому на воду припадає 67,5% розчину, а на сечовину – 32,5%. AdBlue випускається тільки за ліцензії VDA кількома відомими європейськими компаніями: SKWP, Ab Achema, BASF, Yara.

Технологія селективної каталітичної нейтралізації (Selective Catalytic Reduction), скорочено іменується SCR, заснована на впорскуванні водного розчину сечовини AdBlue, взятому в строго певній кількості, у потік відпрацьованої суміші газів. При цьому елементи вступають у хімічну реакцію, в результаті якої на виході замість небезпечних оксидів азоту утворюються водяні пари і газоподібний азот. Прискорити перебіг хімічної реакції допомагає каталізатор, в якості якого в системі SCR використовується пентаоксид ванадію. Рідина AdBlue заливається в окрему ємність, розташовану поруч з паливним баком.

Ефективність процесу нейтралізації розчином сечовини AdBlue оксидів азоту, що містяться у вихлопних газах дизельного мотора, була підтверджена в ході експериментальних досліджень. Дизелі з низьким рівнем наявності твердих частинок у відпрацьованих газах вдається довести до вимог екологічних стандартів, введених в Європі, з допомогою установки системи SCR.

Розчин сечовини AdBlue взаємодіє з відпрацьованими газами дизельного двигуна, що забезпечує їх безпеку на виході для навколишнього середовища. На першому етапі відбувається процес гідролізу, запускається який завдяки високій температурі вихлопних газів, що досягає 180 градусів і більше. Процес гідролізу завершується утворенням аміаку. На другому етапі аміак у присутності каталізатора розпадається на воду і газоподібний азот.

Ефективність технології SCR знаходиться в прямо пропорційній залежності від чистоти і якості реагенту AdBlue. Не допускається на-

явність у розчині сечовини будь-яких сторонніх речовин і частинок [1].

**Метою даної роботи** є розробка способу зниження токсичності викидних газів автобусів з дизельними двигунами шляхом встановлення системи SCR.

**Результати дослідження.** Пропонується встановити систему нейтралізації викидних газів SCR, аналогічну тій, яка використовується на автомобілі Volkswagen Crafter з двигуном TDI 2.5 л, на вітчизняний автобус Богдан А-092 з двигуном ISUZU 4HK1-XS з деякими поправками та рекомендаціями, а саме:

- відновлювальний нейтралізатор зробити подвійним;
- встановити додатковий датчик рівня  $\text{NO}_x$  у ВГ перед відновлювальним нейтралізатором;
- у конструкції вихлопної системи при монтажі її на автомобіль встановити вібропоглинач муфту.

Використання системи SCR на даному автобусі дозволить підтримувати рівень токсичності, який відповідає європейським нормам Євро-5.

Дана система ніяк не вплине на саму роботу двигуна, тобто потужність автомобіля не зменшиться, тягово-швидкісні характеристики залишаться попередніми, система лише змінить склад викидних газів у атмосферу (азот і водяна пара).

Експлуатація SCR, потребує додаткових витрат на розчин AdBlue, але вони є незначними, технічне обслуговування системи буде співпадати із загальним ТО автомобіля і не потребуватиме, при правильній експлуатації системи, значних витрат, більше того постійне використання системи дозволить зменшити затрати підприємця на накладних витратах, що включають різні природо-зберігаючі витрати, особливо це стосується великих автотранспортних підприємств.

Трикомпонентний каталітичний нейтралізатор автомобіля Богдан А-092, вбудований у глушник випускної системи (рис. 1, рис. 2), призначений для зменшення вмісту шкідливих компонентів у відпрацьованих газах. Платинове і родієве покриття нейтралізатора знижує вміст оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ), вуглеводнів (HC) і оксиду вуглецю (CO) до рівня екологічності відпрацьованих газів не вище Євро-3, що є не допустимим у теперішній час на території Європейського союзу.

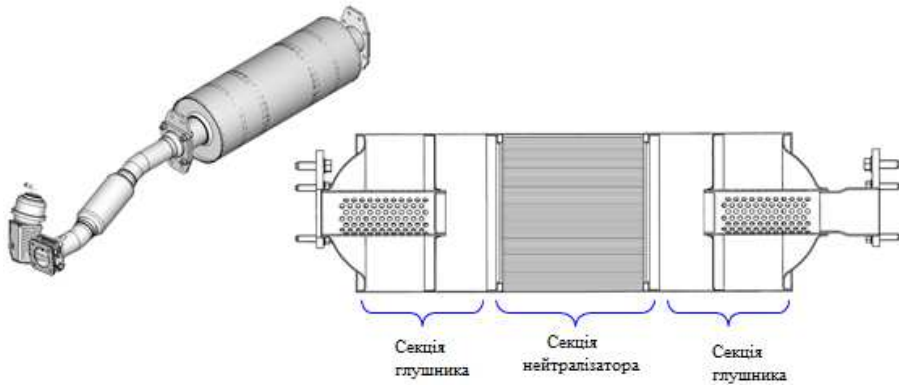


Рис. 1. Трикомпонентний каталітичний нейтралізатор

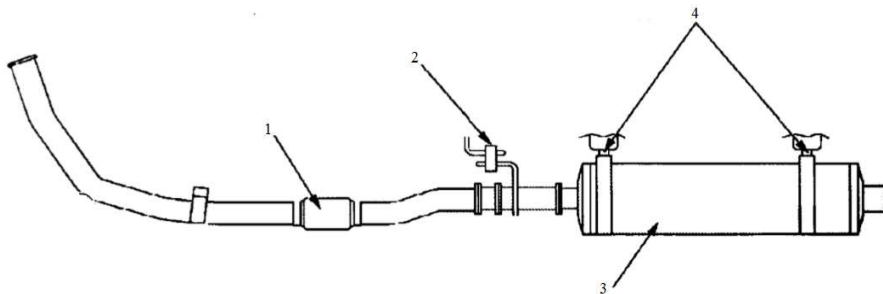


Рис. 2. Вихлопна труба автомобіля Богдан А-092 з вбудованим нейтралізатором у глушник:

1 – теплоізоляція, 2 – пружний елемент, 3 – глушник з нейтралізатором,  
4 – пружні елементи

Запропонована система Selective Catalytic Reduction дозволяє забезпечити на даному дизельному двигуні найсуворіші вимоги по токсичності, що діють в теперішній час у світі (Євро-5, Євро-6).

SCR-система складається з окисювального нейтралізатора, фільтра сажі, відновлювальних нейтралізаторів, магістралі доставки сечовини (Модуль Подачі SM), пристроїв дозованого уприскування сечовини (Дозувальний Модуль DM), бака для сечовини, контролера модуля подачі DCU (Dosing Control Unit), відповідних трубопроводів і проводів.

Для того, щоб встановити систему SCR, спочатку потрібно провести демонтаж старої системи викидних газів (рис. 3), яка повністю знімається і замінюється на нову.

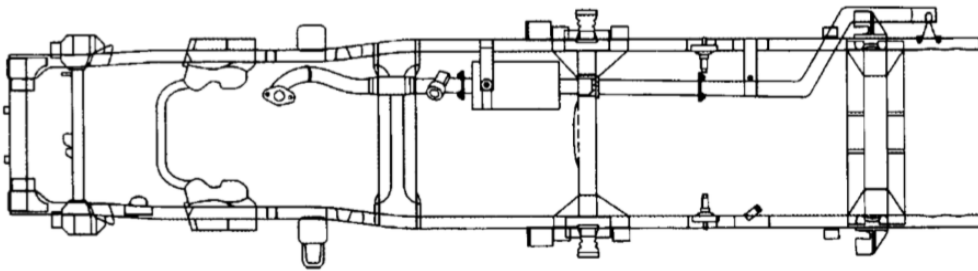


Рис. 3 Будова вихлопної системи автомобіля Богдан А-092

Демонтаж старої системи випуску викидних газів проводиться у такій послідовності:

- відкрутити дві гайки на колекторі та зняти прокладку;
- відкрутити гайки хомутів;
- зняти приймальну трубу;
- зняти ущільнювачі і пружні елементи;
- зняти глушник з нейтралізатором;
- зняти випускную трубу з подушки [2].

Встановлення системи SCR проводиться на місце старої системи викидних газів, основні деталі кріпляться до рами автомобіля за допомогою болтів та кронштейнів і металевих монтажних стрічок.

Блок керування двигуна J623 встановлюється під кабіною біля двигуна і підключається до загальної схеми.

У нормальних умовах, при спалюванні 100 л палива буде використано 1,5 л розчину сечовини; об'єм бака для сечовини повинен становити 7-10% від обсягу паливного бака, тому встановлюється бак місткістю 25 л поряд з паливним на рамі (рис. 4).

Бак для розчину сечовини виготовляється з пластику, має власну вагу близько 3кг і розміри 550x450x200 мм, оснащений інтегрованою системою підігріву. Моніторинг стану бака забезпечують датчик рівня рідини і датчик температури рідини; підігрів здійснюється з використанням охолоджувальної рідини автомобільного двигуна і має за мету – не допустити замерзання розчину сечовини в баку у холодний період року. Вентиляційний клапан забезпечує баланс тиску в середині бака і – навколишньої атмосфери. Бак оснащений фільтром грубої очистки, який захищає систему уприскування від попадання частинок розміром більше 0,1 мм. Бак не має отворів для зливу відстою. Заправна рідина повинна відповідати Європейському стандарту DIN 70070, при цьому кришка бака повинна відрізнятись за розміром від кришки паливного бака для того, щоб попередити можливу заправку неналежною рідиною «помилково».

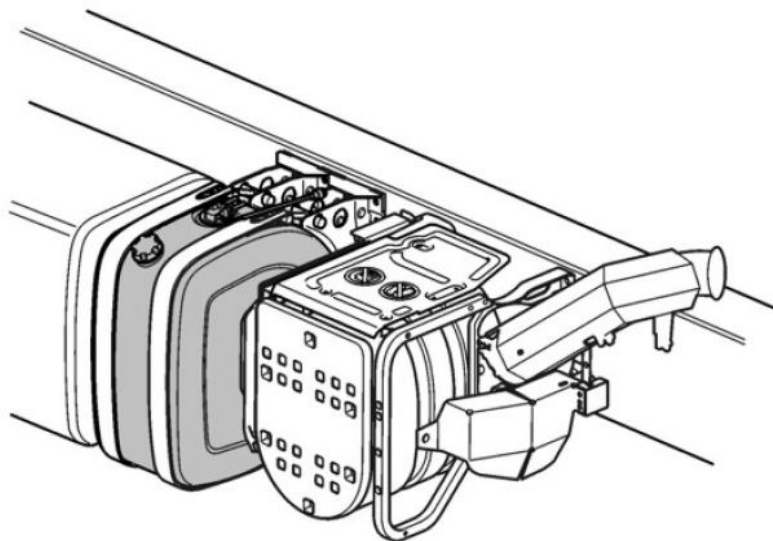


Рис. 4. Розміщення бака з реагентом поряд з паливним баком

Магістралі та трубопроводи кріпляться до рами за допомогою хомутів, а у місцях кріплення використовуються пружні елементи для зменшення вібрацій.

Отже порядок монтажних робіт системи SCR включає такі етапи:

- встановити прокладку колектора на шпильки;
- встановити приймальну трубу глушника;
- закрутити гайки на колекторі, які кріплять прокладку;
- встановити окислювальний каталізатор;
- з'єднати приймальну трубу з окислювальним каталізатором;
- надіти і затягти хомут;
- закріпити кронштейн окислювального каталізатора;
- встановити вібропоглинаючу муфту;
- встановити пружні елементи по всій довжині магістралі випуску викидних газів;
- встановити основний глушник з відновними нейтралізаторами;
- з'єднати приймальну трубу і окислювальний каталізатор з основною трубою системи випуску ВГ болтами і затягти гайку ключем;
- встановити подушку кріплення випускної труби каталізаторів і глушника;
- зафіксувати глушник монтажними стрічками;
- закріпити бак з реагентом до рами монтажними стрічками;

- змонтувати всі трубопроводи подачі реагенту та магістралі та підключити їх до системи;
- під'єднати всі електропроводи системи до відповідних вузлів та датчиків;
- встановити та підключити блок керування двигуна;
- залити реагент в бак.

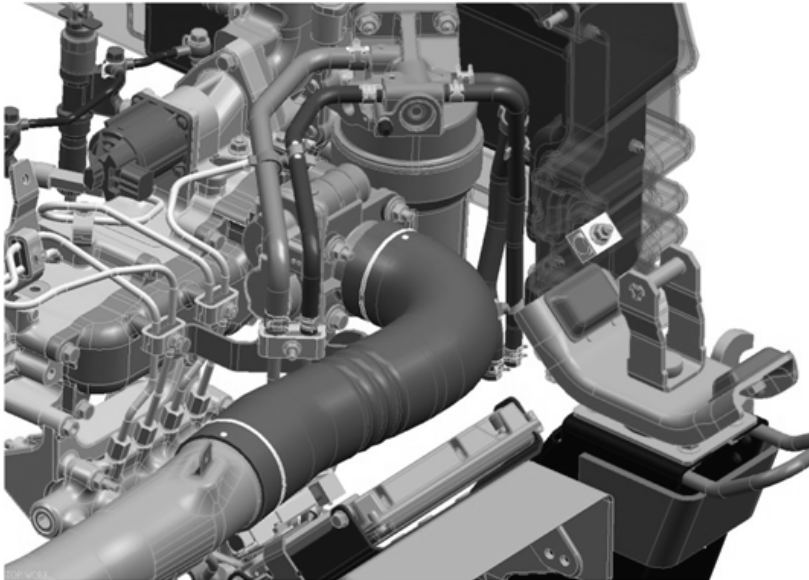


Рис. 5. Зображення встановленої на двигун приймальної труби

**Вимоги до встановлення системи SCR.** Вихлопна система включає в себе окислювальний каталізатор у поєднанні з фільтром сажі, який встановлений якомога ближче до двигуна. Кріпиться до підрамника за допомогою кронштейна. На місці каталітичного нейтралізатора встановлено два відновних каталізатора в першому з яких відбуваються реакції термолізу та гідролізу, а в наступному реакція відновлення.

Глушник даного дизельного двигуна служить для зменшення шуму, він встановлюється на готовий автомобіль на місце традиційного глушника і кріпиться сталевими монтажними стрічками.

Вимагається використовувати еластичні амортизатори в місцях кріплення відновлювальних каталізаторів до рами автомобіля – з метою уникнути жорстких вібрацій, які можуть пошкодити внутрішнє керамічне наповнення каталізатора.

Відновлювальний нейтралізатор – істотно важчий порівняно з звичайним глушником, так що потрібно ретельно перевірити існуючу

систему кріплення на міцність і, в разі необхідності, змінити конструкцію.

Перебіг хімічної реакції всередині каталізатора залежить від температури (мінімальне значення  $180^{\circ}\text{C}$ ), тому каталітичний нейтралізатор повинен встановлюватися максимально близько від мотора, а вихлопна магістраль – по можливості, повинна бути теплоізована.

Вихлопна магістраль на 200 мм. вгору від точки уприскування сечовини і вниз – до входу в нейтралізатор повинна бути виготовлена з нержавіючої сталі класу 304 або 439, оскільки в умовах високої температури сечовина є агресивним кородуючим реагентом.

Повинна бути встановлена віброподавлююча муфта у вихлопній магістралі на ділянці від двигуна до каталітичного нейтралізатора з метою захисту каталітичного наповнення від вібрацій двигуна.

Максимальний тиск вихлопних газів на виході з труби навіть при максимальному навантаженні на двигун не повинен перевищувати 20 кПа.

Діапазон робочих температур модуля подачі сечовини в системі SCR – від  $-40$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ , клас захисту IP67, 69K.

Контроль за витратою розчину сечовини здійснюється через дозуючий клапан: потік можна регулювати, змінюючи робочі інтервали клапана N473.

Модуль здійснює контроль уприскування сечовини, змінюючи робочий інтервал дозуючого клапана, і регулює потік розчину сечовини – підтримуючи на заданих рівнях робочу частоту, напругу на котушці клапана, тиск розчину і тиск упорскування на форсунці, при цьому відкриття/закриття дозуючого клапана контролюються імпульсними сигналами.

Продуктивність блоку – до 20 кг розчину сечовини у годину, робочий тиск – 5 Атм, температура розчину сечовини – від  $-5$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ .

При повороті ключа в замку запалювання насос сечовини може видати короткий звук: при запуску двигуна в напірній магістралі встановлюється тиск на рівні 5 Атм, при цьому система виявляється готовою до уприскування сечовини. Якщо температура вихлопних газів перевищує  $180^{\circ}\text{C}$ , форсунка отримує команду на впорскування.

При виключенні замка запалювання насос автоматично переходить в реверсний режим і протягом 30 секунд висмоктує залишки сечовини з напірної магістралі і перекидає їх у бак з метою уникнути



кристалізації сечовини і можливого закупорювання напірній магістралі. Тому силова магістраль насоса сечовини не повинна контролюватися замком запалювання, і рекомендується пряме з'єднання насоса з полюсами блоку акумуляторних батарей. Блок подачі сечовини контролює роботу внутрішнього нагрівача, так що в разі необхідності він активується автоматично, щоб не допустити замерзання сечовини.

Для встановленого на автомобілі блоку подачі сечовини зазвичай не потрібно якогось спеціальної захисту. Тим не менш рекомендується по можливості захищати блок від бризок, дощу і сльоти для того, щоб не пошкодити конектори. Тому рекомендується встановити захисний кожух.

Напірний трубопровід від насоса до форсунки уприскування повинен бути гнучким, здатним поглинати вібрації від вихлопної магістралі.

Точка вприскування сечовини повинна розташовуватися якнайдалі від входу в каталітичний нейтралізатор, в будь-якому випадку відстань між ними повинна бути не менше 300 мм, щоб забезпечити необхідне перемішування. Кут розташування форсунки щодо вихлопної магістралі, зокрема – щодо потоку вихлопних газів повинні відповідати наступним вимогам. Якщо гніздо форсунки уприскування розташовується на прямій ділянці вихлопного трубопроводу – кут між віссю форсунки (напрямоком уприскування) і потоком вихлопних газів повинен становити 30 градусів (як у нашому випадку) (рис. 6), якщо ж місце кріплення форсунки розташоване на вигині вихлопної магістралі – установку слід робити так, щоб кут між напрямком уприскування і осьовою лінією вихлопної магістралі був в межах 3-5 градусів.

У разі якщо вхід трубопроводу в каталітичний нейтралізатор не є вертикальним – оптимальний кут монтажу форсунки становить 60°-70° (по вертикалі), допускаються кути установки в межах 45°-90° і 270°-315°; встановлення в межах 315°-45° не рекомендується, тому що гарячі вихлопні гази можуть перегріти форсунку, а діапазон 90°-270° небезпечний тим, що крапельки сечовини можуть впасти назад і утвориться наліт, що може заблокувати роботу форсунки.

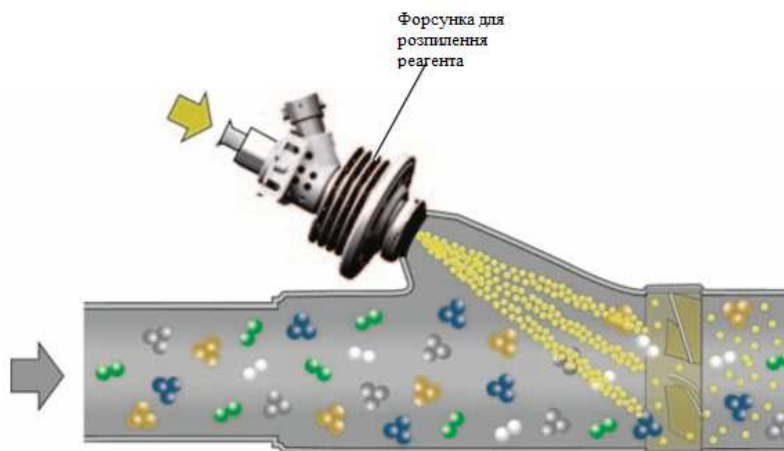


Рис. 6. Розміщення форсунки розпилення реагента

**Вимоги до електропроводки.** Щоб забезпечити нормальну і стабільну роботу системи, елементи електропроводки повинні відповідати роз'ємам, вимогам до електричних кіл та ін. Відхилення по перерізам проводів можуть призвести до збоїв у роботі системи.

Проводи в ізолювальній оболонці повинні бути підібрані за призначенням, що становить їх матеріалом, розмірами, маркуванням і результатами випробувань; повинні відповідати стандарту DIN72551. Проводи повинні бути додатково захищені гнучкими трубками ПВХ (PVC) відповідно до DIN40621, повинні бути корозійно-стійкі до дизельного палива та моторного мастила [3].

**Екологічний ефект від впровадження системи SCR.** Встановивши систему SCR на автомобіль Богдан А-092, з урахуванням всіх запропонованих поправок до конструкції, можна зробити порівняльно-екологічний ефект від впровадження цієї системи. Результати зведені до таблиці.

Таблиця

Порівняльно-екологічний ефект встановлення системи SCR

Автобус	Норма Євро	CO	CH+NO <sub>x</sub>	O <sub>x</sub>	ТЧ(Сажа)
		г/км			
Богдан А-092	Євро - 3	0,95	0,86	0,78	0,10
Богдан А-092 з системою SCR	Євро - 5 Євро - 6	0,74	0,22	0,13	0,005
Екологічна ефективність системи SCR у %		22,1	74,4	83,3	95,0

**Таким чином,** встановлення системи нейтралізації викидних газів SCR, аналогічній тій, що використовується на автомобілі Volkswagen Crafter з двигуном TDI 2.5 л, на вітчизняний автобус Бог-

дан А-092 з деякими поправками та рекомендаціями дозволить отримати рівень токсичності, який відповідає європейським нормам Євро-5.

1. Програма самонавчання 424. Система нейтралізації відпрацьованих газів Selective Catalytic Reduction. Конструктивні особливості і опис роботи.  
2. Мірошніченко М. Е. Богдан А-064 / А-091 / А-09201 / А-09202 / А-09211 / А-09212 / А-092КВ / А-92 Н / А-30141 / А-301.71 / А-301.72/ З-09211 / А-092 / А-0921, Дизельні двигуни: 4.4/4.6/4.8 л. Керівництво по ремонту та експлуатації. Видавництво Моноліт, 2009. 370 с.: іл. 3. Автомобильный справочник. Bosch / пер. с англ. М. : Изд-во "За рулем", 2000. 896 с.

## REFERENCES:

1. Prohrama samonavchannia 424. Systema neitralizatsii vidpratsovanykh gaziv Selective Catalytic Reduction. Konstruktyvni osoblyvosti i opys roboty.  
2. Miroshnychenko M. E. Bohdan A-064 / A-091 / A-09201 / A-09202 / A-09211 / A-09212 / A-092KV / A-92 N / A-30141 / A-301.71 / A-301.72/ Z-09211 / A-092 / A-0921, Dyzelni dvyhuny: 4.4/4.6/4.8 l. Kerivnytstvo po remontu ta eksplu-atatsii. Vydavnytstvo Monolit, 2009. 370 c.: il. 3. Avtomobilnyi spravoch-nik. Bosch / per. s anhl. M. : Izd-vo "Za rulem", 2000. 896 s.

---

**Kolesnyk O. A., Candidate of Engineering (Ph.D.), Stadnyk O. S.,  
Candidate of Engineering (Ph.D.)** (National University of Water and  
Environmental Engineering, Rivne)

## DEVELOPMENT OF A METHOD FOR REDUCING TOXICITY OF EXHAUST OF DIESEL BUSES WITH DIESEL ENGINES

Considering the current problems of ecology in road transport as well as the methods of their solution, it can be seen that in many cases a large percentage of emissions of toxic substances is due to the imperfect system of engine exhaust gases on cars operated on the territory of Ukraine. The exhaust of heavy-duty vehicles equipped with diesel engines must meet the requirements of Euro-4, Euro-5 environmental standards.

The technology of SCR allows reducing the amount of hazardous emissions to vehicle manufacturers. One of the compulsory components of this technology is the AdBlue brand fluid. The solution is prepared on specialized equipment with demineralized water and urea.

The purpose of this work is to develop a method for reducing the toxicity of exhaust gases of buses with diesel engines by installing a SCR system. Selective Catalytic Reduction Technology, abbreviated as SCR, is based on injection of an aqueous solution of urea AdBlue into

the stream of waste gas mixture. In this case, the elements enter a chemical reaction, resulting in the formation of water vapor and gaseous nitrogen in place of dangerous nitrogen oxides. It is proposed to install a SCR exhaust gas neutralization system similar to that used on a Volkswagen Crafter with a TDI 2.5-liter engine on the domestic bus Bogdan A-092 with the engine ISUZU 4HK1-XS with some amendments and recommendations, namely: a recovery neutralizer to be doubled ; to install an additional sensor of NO<sub>x</sub> level in VH before the regenerative neutralizer; In the design of the exhaust system when mounting it on the car to install a vibration absorber coupling. Using the SCR system on this bus will allow maintaining a level of toxicity that meets European Euro-5 standards. The reduction of CO emissions is expected at 22,1%, CH + NO<sub>x</sub> by 74,4%, NO<sub>x</sub> by 83,3%, soot by 95%.

**Keywords:** diesel engine, exhaust gases, nitrogen oxides, neutralization, AdBlue solution.

---

Колесник А. А., к.т.н., Стадник А. С., к.т.н. (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

## **РАЗРАБОТКА СПОСОБА СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ АВТОБУСОВ С ДИЗЕЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**

Предложен способ снижения токсичности выхлопных газов автобусов с дизельными двигателями путем установления системы SCR. Технология селективной каталитической нейтрализации (Selective Catalytic Reduction), сокращенно именуется SCR, основанная на впрыскивании водного раствора мочевины Adblue в поток отработанной смеси газов. При этом элементы вступают в химическую реакцию, в результате которой на выходе вместо опасных оксидов азота образуются водяная пара и газообразный азот. Предлагается установить систему нейтрализации выхлопных газов SCR, аналогичную той, которая используется на автомобиле Volkswagen Crafter с двигателем TDI 2.5 л, на отечественный автобус Богдан А-092 с двигателем ISUZU 4HK1-XS с некоторыми поправками и рекомендациями. Использование системы SCR на данном автобусе позволит поддерживать уровень токсичности, который удовлетворяет европейским нормам Евро-5. Прогнозируется уменьшение выбросов CO на 22,1%, CH+NO<sub>x</sub> на 74,4%, NO<sub>x</sub> на 83,3%, сажи на 95%.

**Ключевые слова:** дизельный двигатель, выхлопные газы, оксиды азота, нейтрализация, раствор Adblue.

---