

УДК 629.3.018.7
UDK 629.3.018.7

PORÓWNANIE WYNIKÓW EMISJI TOKSYCZNYCH SKŁADNIKÓW SPALIN Z POJAZDÓW
SAMOCHODOWYCH UZYSKANYCH Z SYSTEMU PEMS Z MODELEM OBLICZENIOWYM
EMEP/CORINAIR PROGRAMU OPERAT FB

JAWORSKI Artur, dr inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska, ajaworsk@prz.edu.pl,
orcid.org/0000-0002-1599-1711

MĄDZIEL Maksymilian, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska, mmadziel@prz.edu.pl,
orcid.org/0000-0002-3957-8294

COMPARISON OF THE EMISSION RESULTS OF EXHAUST TOXIC COMPOUNDS OF CARS
OBTAINED FROM THE PEMS SYSTEM WITH THE EMEP / CORINAIR CALCULATION MODEL OF
OPERAT FB PROGRAM

JAWORSKI Artur, PhD., Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland,
ajaworsk@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0002-1599-1711

MĄDZIEL Maksymilian, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland,
mmadziel@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0002-3957-8294

ПОРІВНЯННЯ ВИХЛОПНИХ ГАЗІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ОТРИМАНИХ
ІЗ СИСТЕМИ PEMS, З МОДУЛЕМ РОЗРАХУНКУ EMEP/CORINAIR OPERAT FB

ЯВОРСКИ Артур, Жешовська Політехніка, Жешув, Польща, ajaworsk@prz.edu.pl,
orcid.org/0000-0002-1599-1711

МОНДЗИЄЛ Максиміліан, Жешовська Політехніка, Жешув, Польща, mmadziel@prz.edu.pl,
orcid.org/0000-0002-3957-8294

WSTĘP

W związku z ciągle rosnącą liczbą pojazdów samochodowych zwiększa się sumaryczna emisja toksycznych składników spalin. Prowadzi to do pogorszenia jakości powietrza, jak i zdrowia mieszkańców. Pomimo tego, że podjęto się eliminacji tego problemu poprzez wprowadzenie norm, realizacji wielu kampanii społecznych oraz projektów badawczych, to emisja zanieczyszczeń spalin z transportu drogowego jest wciąż istotnym zagrożeniem. Emisja zanieczyszczeń w spalinach z transportu drogowego zależy od wielu czynników, m.in. wielkości ruchu drogowego, charakterystyki drogi i samochodów, warunków atmosferycznych, zachowań kierowców, jak również rodzaju zastosowanych skrzyżowań [3].

Obecne trendy w zakresie badań emisji spalin z pojazdów samochodowych obejmują testy drogowe z wykorzystaniem aparatury PEMS (ang. Portable Emissions Measurement System) [2]. Wyniki badań z rzeczywistych przejazdów stanowią bazę danych, która jest podstawą do opracowania modeli obliczeniowych emisji spalin. Jednym z takich modeli jest pakiet samochodu z programu Operat FB, który wykorzystuje metodyki EMEP/CORINAIR B710 i B760, stosowane m.in. w programie COPERT IV oraz V. Pojazdy w tym module zostały podzielone na 6 głównych grup, natomiast każda grupa na kilka rodzajów w zależności od pojemności lub masy. Ponadto pojazdy są wydzielone ze względu na zgodność emisji z normami EURO.

Celem pracy jest porównanie wartości wybranych wskaźników emisji uzyskanych z testu drogowego z użyciem systemu PEMS, do wyników z modelu symulacyjnego - moduł samochodu, programu Operat FB.

TESTY DROGOWE

Test NEDC, który powstał w 1997 r., obejmuje dystans o długości 11 km, trwa 20 min., natomiast średnia prędkość jazdy podczas jego trwania wynosi 34 km/h [5]. Utrata wiarygodności wyników testu NEDC wynikała z tego, że rozwój konstrukcji samochodów wraz z upływem lat spowodował, że pomijał on pewne ważne kwestie związane z samą charakterystyką pracy pojazdu. Coraz to nowsze modele samochodów posiadały różne wersje wyposażenia, natomiast test ten np. nie uwzględniał włączenia urządzeń dodatkowych samochodu (np. klimatyzacji), co zaniża wartości emisji składników spalin. Błędne dla tego testu jest również wymuszenie na każdym z pojazdów takich samych punktów zmiany przełożeń skrzyni biegów oraz to, że stosunek jazdy miejskiej do jazdy w terenie pozamiejskim wynosił odpowiednio 66% do 34% [1,7].

Opisane powyżej kwestie przyczyniły się do opracowania nowej procedury przeprowadzania testów jezdnych pojazdów – WLTP. Procedura ta rozgranicza 3 typy pojazdów, kategoryzując je względem stosunku mocy do masy. Kolejno dla danego typu pojazdu przeprowadzany jest test jezdny WLTC (ang. Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicle Test Cycle) - światowy zharmonizowany cykl badania pojazdów lekkich, podczas którego mierzona jest emisja gazowych zanieczyszczeń spalin (CO_2 , NO_x , THC, CO), cząstek stałych (PM) oraz zużycie paliwa [4,8]. Uzupełnieniem testów na hamowni jest test drogowy RDE, którego zadaniem jest określenie wielkości emisji szkodliwych składników spalin w warunkach ruchu na drodze. Przeprowadzanie tego typu testów drogowych jest istotne, ponieważ jazda może odbywać się m.in. w zmiennych warunkach ruchu, odmiennych warunkach klimatycznych, czy dla różnych wysokości położenia drogi, co znacząco wpływa na wyniki emisji zanieczyszczeń spalin [5]. Dlatego też z powodu występowania wielu zmiennych oraz dynamiki testu RDE, konieczne było opracowanie wymagań odnośnie kompozycji drogi (równy podział na część miejską, pozamiejską oraz autostradową), kalibracji oprzyrządowania systemu PEMS, warunków klimatycznych panujących podczas trwania testu oraz dynamiki jazdy (np. dopuszczalny zakres przyspieszeń), aby wyniki były reprezentatywne oraz miarodajne dla każdej przeprowadzonej próby [6].

Wybrany do testów odcinek drogi powinien zaczynać się od części miejskiej (prędkość jazdy nie przekracza 60 km/h), następnie powinien obejmować część pozamiejską (prędkość jazdy wyższa niż w obszarze miejskim, natomiast nie większa niż 90 km/h) oraz kończyć się częścią autostradową (prędkość wyższa niż 90 km/h). Opisane części drogi powinny być równe, natomiast ich minimalne długości powinny wynosić ok. 16 km. Czas podróży powinien wynieść od 90 do 120 minut. Temperatura otoczenia musi zawierać się w przedziale od 0 do 30°C. Testy drogowe muszą być przeprowadzane w normalnych dniach pracy z wyłączeniem weekendów [3].

SYSTEM PEMS

Istotnym elementem nowej procedury jest system pomiarowy umożliwiający badania drogowe. Systemy PEMS wyposażone są w następujące czujniki oraz metody pomiaru zanieczyszczeń w spalinach: detektor płomieniowo-jonizacyjny (FID) do pomiaru HC, niedyspersyjny spektrometr w podczerwieni (NDIR) do pomiaru CO oraz CO_2 , niedyspersyjny ultrafiolet (NDUV) do pomiaru NO oraz NO_2 . Zgodnie z Rozporządzeniem Komisji UE 2017/1151 dopuszczalne odchylenia pomiarów z PEMS zestawione z wynikami z analizatora stacjonarnego (na hamowni podwoziowej) nie powinny być większe niż: 15% dla HC, CO, NO_x oraz 10% dla CO_2 [3].

PEMS może być zainstalowany w bagażniku testowanego pojazdu, natomiast sensory pomiarowe z przepływomierzem przyłączone są do rury wylotowej. Przewód pobierający próbkę spalin musi być rozgrzany do temperatury 190°C, żeby uniknąć kondensacji węglowodorów. Dodatkowo, do systemu podłączone są czujniki temperatury i wilgotności powietrza otoczenia, jak również nadajnik GPS. Do uzyskania pełnego obrazu wpływu pracy silnika na generowaną emisję, do sterownika ECU pojazdu można podłączyć interfejs OBDII [5,4,6].

OPERAT FB – MODUŁ SAMOCHODY

Pakiet programu Operat FB służy do modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym ze źródeł punktowych, liniowych oraz powierzchniowych. Posiada on dodatkowy moduł samochody, dzięki któremu możliwe jest obliczenie emisji pochodzącej z ruchu samochodów po drogach. Wyniki emisji zanieczyszczeń obliczane są metodyką EMEP/Corinair B710 oraz B760. Polega ona na obliczaniu emisji gorącej pochodzącej ze spalin silnika pojazdu, emisji zimnej powstającej na początku pracy silnika oraz emisji odparowania pochodzącej z oparów, której źródłem są m.in. zmiany objętości oparów zbiorników pojazdu oraz rozgrzewanie zbiornika po wyłączeniu silnika pojazdów. Można również obliczyć emisję pochodzącą ze ścierania klocków hamulcowych oraz opon [10].

Model Corinair wyróżnia ponad 200 kategorii pojazdów, wydzielonych do 6 grup – pojazdy osobowe, dostawcze, ciężarowe, autobusy, motorowery oraz motocykle. Kolejnym kryterium podziału jest pojemność silnika pojazdu oraz spełnianie danego standardu emisji spalin. W celu obliczenia emisji należy podać udział określonych pojazdów na danym odcinku drogi, określić ich prędkość oraz zaznaczyć czy przejazd wykonywany był na odcinku drogi miejskiej, podmiejskiej, czy autostradowej.

WYNIKI BADAŃ

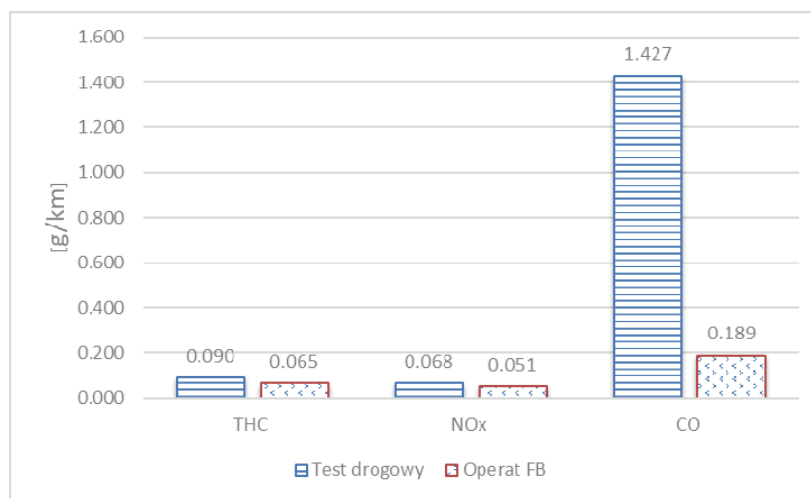
Badania drogowe przeprowadzono przy użyciu systemu PEMS (model Horiba OBS-2200), będącym na wyposażeniu Laboratorium Ekologii Motoryzacyjnej Katedry Silników Spalinowych i Transportu na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej.

Zgodnie z przepisami zawartymi w najnowszym Rozporządzeniu Komisji Europejskiej, test RDE rozpoczęto od porównania pomiarów z systemu PEMS ze stacjonarnym systemem analizy spalin AMAi60. Badania wstępne przeprowadzono na hamowni podwoziowej zabudowanej w komorze klimatycznej na

samochodzie osobowym. Wyniki badań wykazały, że różnice wartości emisji zanieczyszczeń w teście NEDC, mierzonych za pomocą systemu PEMS i AMAi60, mieściły się w dopuszczalnych wartościach odchyłek i wyniosły odpowiednio: CO₂ 6%, THC 6,1%, NO_x 14,2% oraz CO 14,4 %. W związku z tym dalsze pomiary emisji realizowane w warunkach rzeczywistego ruchu drogowego, można uznać za poprawne.

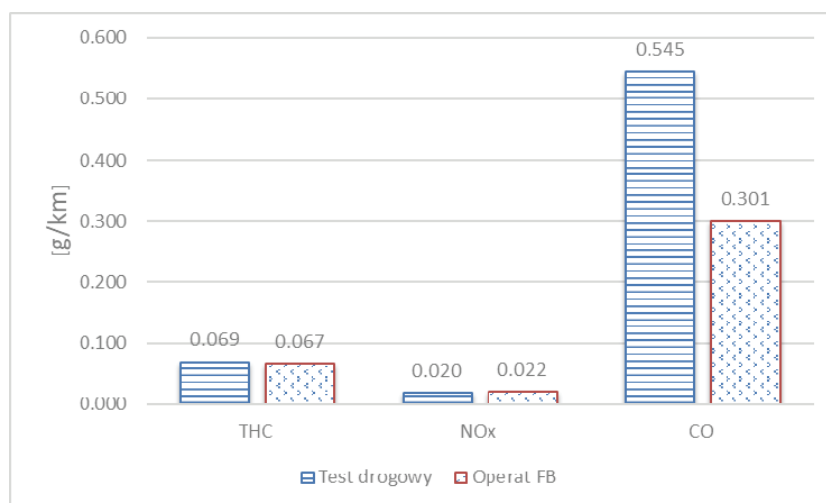
Do badań drogowych wybrany został pojazd z silnikiem benzynowym spełniającym normy EURO 5. Pojazd posiada silnik z wtryskiem typu MPI. W związku z tym w programie Operat FB wszystkie ustawienia odnośnie pojazdu skorygowano zgodnie do tych rzeczywistych – norma EURO 5 oraz odpowiednia pojemność silnika.

Celem badań przeprowadzonych w warunkach drogowych było określenie wartości emisji zanieczyszczeń w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego dla wybranego regionu. Badana trasa składała się z części miejskiej, pozamiejskiej oraz autostradowej. Średnia prędkość jazdy dla poszczególnych części testu drogowego wyniosła odpowiednio: część miejska – 28 km/h, część pozamiejska 73 km/h, część autostradowa – 101 km/h. Wymagane dane z testów drogowych zostały przeniesione do modułu samochodu programu Operat FB, w celu wyznaczenia wskaźników emisji z modelu symulacyjnego oraz porównania ich z wynikami rzeczywistymi (rys. 1,2,3).



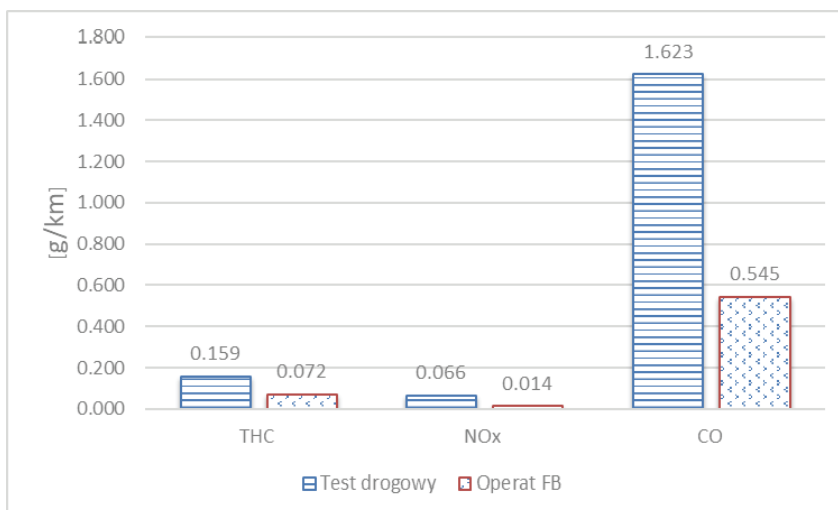
Rysunek 1 – Wyniki wybranych wskaźników emisji z testu drogowego oraz programu Operat FB dla części miejskiej

Figure 1 – The results of selected emission factors from the road test and the FB Operational Program for the urban part



Rysunek 2 – Wyniki wybranych wskaźników emisji z testu drogowego oraz programu Operat FB dla części podmiejskiej

Figure 2 – The results of selected emission factors from the road test and the FB Operational Program for the rural part



Rysunek 3 – Wyniki wybranych wskaźników emisji z testu drogowego oraz programu Operat FB dla części autostradowej

Figure 3 – The results of selected emission factors from the road test and the FB Operational Program for the highway part

Wyniki dla prawie wszystkich części testu dla programu Operat FB są niższe w porównaniu do wyników z testów rzeczywistych. Największe różnice wyników względem wszystkich części testu występują dla tlenków węgla. Zestawienie procentowe wyników emisji z testu rzeczywistego do programu Operat FB przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1 – Wartości względne emisji zanieczyszczeń uzyskanych w badaniach drogowych do wyników wyznaczonych w badaniach symulacyjnych

Table 1 – Relative values of pollutant emissions obtained in road tests to results determined in simulation studies

Odcinek testu	THC [%]	NO _x [%]	CO [%]
miejski	28,02	25,05	786,76
podmiejski	3,82	-8,05	44,77
autostradowy	55,08	78,37	166,42

PODSUMOWANIE

Najmniejsze odchylenia wyników uzyskanych z testu rzeczywistego i programu Operat FB (moduł samochodu) występują dla węglowodorów (THC). Spośród analizowanych zanieczyszczeń, jedynym składnikiem toksycznym spalin, którego wartość była wyższa w badaniach symulacyjnych w stosunku do testu rzeczywistego jest tlenek azotu (NO_x) – różnica 8,05 % (w części podmiejskiej).

Należy mieć na uwadze to, że wyniki z programu symulacyjnego Operat FB są dla określonej, dużej grupy pojazdów spełniających standardy EURO 5, natomiast wyniki z testu drogowego tyczą się tylko badanego pojazdu. Stosowalność tego rodzaju uogólnionych modeli symulacyjnych ma sens w przypadku badania emisji na określonym obszarze, względem danego natężenia ruchu drogowego. Badania rzeczywiste z użyciem systemu PEMS dla każdego pojazdu są praktycznie mało prawdopodobne. W związku z tym konieczne są dalsze badania drogowe i symulacyjne, w tym również dla samochodów spełniających różne standardy emisji zanieczyszczeń, które pozwolą na uzyskanie uśrednionych wartości emisji.

W rozważaniach należy również zaznaczyć, że testy RDE, jak również systemy analizy spalin PEMS, cechują pewne ograniczenia. Modalny pomiar emisji na drodze w dłuższym przedziale czasu powoduje zwiększenie czasu reakcji analizatora (m.in. poprzez wahania temperatury otoczenia). W związku z tym pomiary emisji podczas prób drogowych cechują jeszcze większe marginesy błędów (dla NO_x nawet do 20-30%) względem pomiaru emisji na analizatorach stacjonarnych, mimo tego, że analizatory PEMS spełniają podobne wymagania odnośnie dokładności pomiarowej.

REFERENCES

1. Bosteels, D. (2014). Real Driving Emissions and Test Cycle Data from 4 Modern European Vehicles. *IQPC 2nd International Conference Real Driving Emissions*.
2. Jaworski, A., Kuszewski, H., Lejda, K., Ustrzycki, A., Mądziel, M., Latała, D. (2018). Nowa procedura przeprowadzania badań emisji spalin z pojazdów samochodowych z wykorzystaniem testów drogowych. *Automotive engineering and transport innovations monograph*, 119-125.
3. Jaworski, A., Lejda, K., Mądziel, M. (2017). Emission of pollution from motor vehicles with respect to selected solutions of roundabout intersections. *Polish Scientific Society of Combustion Engines. Combustion Engines 1* (168).
4. Ligterink, N. E. (2016) On-road determination of average Dutch driving behaviour for vehicle emissions *TNO Report 2016 R 10188*. TNO - Netherlands Organisation for Applied Scientific Research. Available at https://www.researchgate.net/publication/303809697_Onroad_determination_of_average_Dutch_driving_behaviour_for_vehicle_emissions.
5. Weiss, M. et al. (2011) On-road emissions of light-duty vehicles in Europe. *Environ. Sci. Technol.* 45.
6. Vlachos, T et al. (2016). The Euro 6 Real-Driving Emissions (RDE) procedure for light-duty vehicles: Effectiveness and practical aspects. *37th International Vienna Motor Symposium*.
7. Steven H. (2015). Analysis of the WLTP EU in-use database and additional data with respect to dynamic driving behavior parameters. *RDE Task Force*.
8. Tietge U., et al. (2015) From laboratory to road: a 2015 update of official and "real-world" fuel consumption and CO2 values for passenger cars in Europe. *ICCT white paper*.
9. Commission Regulation UE 2017/1151 of 1 June 2017 r. supplementing Regulation (EC) No 715/2007 of the European Parliament and of the Council on type-approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6).
10. Operat FB dla Windows, instrukcja obsługi. Proeko.

STRESZCZENIE

JAWORSKI Artur, MĄDZIEL Maksymilian. Porównanie wyników emisji toksycznych składników spalin z pojazdów samochodowych uzyskanych z systemu PEMS z modelem obliczeniowym EMEP/CORINAIR programu OPERAT FB / A. JAWORSKI, M. MĄDZIEL // Wisnyk Narodowego Uniwersytetu Transportu. Seria "Nauki techniczne". – K. : NTU, 2018. – № 3(42).

W pracy przedstawiono problematykę emisji zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych. Poruszono kwestie testów drogowych z wykorzystaniem systemu PEMS do mobilnego pomiaru emisji spalin. Opisano wymagania jakie stawiane są tego rodzaju testom oraz porównano wyniki testu typu RDE i symulacji emisji z wykorzystaniem modelu EMEP/CORINAIR programu OPERAT FB. Analizę wyników przeprowadzono dla wszystkich części testu drogowego, tj. miejskiego, podmiejskiego oraz autostradowego. Najmniejsze odchyłki różnic emisji występują dla części podmiejskiej, natomiast największe dla części miejskiej, głównie w zakresie tlenku węgla.

РЕФЕРАТ

ЯВОРСКИ Артур, МОНДЗИЕЛ Максиміліан. Порівняння вихлопних газів транспортних засобів, отриманих із системи PEMS, з модулем розрахунку EMEP/CORINAIR OPERAT FB / А. ЯВОРСКИ, М. МОНДЗИЕЛ // Вісник Національного транспортного університету. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2018. – Вип. 3 (42).

В статті розглядається проблема оцінки викидів забруднюючих речовин від автотранспорту, а також проводиться порівняльний аналіз значень шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигунів транспортних засобів, що були отримані за допомогою портативної системи вимірювання викидів (PEMS) і змодельованих за допомогою імітаційної моделі – модуля автомобілів, програми OPERAT FB.

Об’єкт дослідження – процес вимірювання шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигунів отриманих шляхом дорожніх випробувань транспортних засобів і робота імітаційної моделі для визначення рівня забруднення.

Мета роботи – порівняння значень шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигунів транспортних засобів, що були отримані за допомогою PEMS і змодельованих за допомогою модуля автомобілів, програми OPERAT FB.

Через постійно зростаючу кількість транспортних засобів загальна кількість викидів токсичних вихлопних компонентів зростає. Це призводить до погіршення якості повітря, а також до здоров'я мешканців. Незважаючи на усунування цієї проблеми шляхом впровадження стандартів, впровадження багатьох соціальних кампаній та дослідницьких проєктів, емісія забруднень автотранспортом все ще є серйозною загрозою. Викиди забруднюючих речовин у вихлопні гази залежать від багатьох факторів, у тому числі інтенсивності дорожнього руху, дорожніх умов та характеристик автомобіля, атмосферних умов, поведінки водіїв та типу перехрестя.

Поточні тенденції у випробуванні вихлопних газів автотранспорту включають дорожні випробування з використанням PEMS. Результати реальних тестів складають базу даних, яка є основою для розробки моделей розрахунку вихлопних газів. Однією з таких моделей є модуль автомобілів для програми OPERAT FB, яка використовує також методології EMEP / CORINAIR B710 та B760 в програмах COPERT IV та V.

Метою випробувань, проведених у дорожніх умовах, було визначення обсягу викидів забруднюючих речовин в реальних умовах руху у вибраному регіоні. Тестовий маршрут складався з міської, заміської частини та автомагістралі. Середня швидкість для кожного дорожньої ділянки випробування становила: частина міста – 28 км/год, частина за містом – 73 км/год, частина автомагістралі – 101 км/ч. Необхідні дані дорожніх випробувань були передані в програмний модуль автомобілів OPERAT FB, для того, щоб визначити коефіцієнти викидів з імітаційної моделі і порівняти їх з фактичними результатами.

Результати роботи можуть бути впроваджені в подальші методи дослідження викидів шкідливих речовин, а також для поліпшення методів їхнього вимірювання.

Прогнозовані припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – збільшення бази даних на основі натуральних дорожніх випробувань з метою підвищення точності роботи імітаційної моделі, що дозволить зменшити витрати на дослідження забруднення навколишнього середовища від дії шкідливих речовин у відпрацьованих газах автотранспортних засобів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВІДПРЦЬОВАНІ ГАЗИ, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, КОЕФІЦІЄНТ ВИКИДІВ, НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ, ШКІДЛИВІ РЕЧОВИНИ.

ABSTRACT

JAWORSKI Artur, MAȢZIEL Maksymilian. Comparison of the emission results of exhaust toxic compounds of cars obtained from the PEMS system with the EMEP / CORINAIR calculation model of OPERAT FB PROGRAM. Visnyk of National Transport University. Series “Technical sciences”. Scientific and Technical Collection. Kyiv. National Transport University. 2018. Vol. 3(42).

The article deals with the problem of motor vehicles' emissions and comparative analysis of the harmful substances value in the exhaust gases of motor vehicles obtained with the a portable emission measurement system (PEMS) and simulated by using the model - OPERAT FB program.

The object of research is the measuring process of the harmful substances in engines' exhaust gases obtained by means of vehicles' road tests and the results of the simulation model for determining the level of pollution.

The purpose of the study is to compare the values of the harmful substances in the exhaust gases of the vehicle engines, obtained by PEMS and simulated by the OPERAT FB program.

Due to the ever increasing number of vehicles, the total emissions of toxic exhaust components is increasing too. It leads to a deterioration of air quality and health of inhabitants. Despite the elimination of this problem through the introduction of standards, many social campaigns and research projects, the emission of road transport is still a serious threat. The vehicle's emissions depend on many factors, including road traffic, vehicle characteristics, atmospheric conditions, driver behavior, as well as the type of road crossings.

Current trends in testing vehicle exhaust emissions include road tests using PEMS. The results of real tests make up the database, which is the basis for developing models for calculating exhaust gases. One of these models is the car module for the OPERAT FB program, which also uses the EMEP / CORINAIR B710

and B760 methodologies in COPERT IV and V programs.

The purpose of road tests was to determine the volume of emissions during real movement conditions in the selected region. Test route consisted of city part, suburban part and highway part. The average speed for each road test site was: the city part – 28 km / h, the suburban part – 73 km / h, the highway part – 101 km / h. The required road test data was transmitted to the OPERAT FB software module in order to determine the emission factors from the simulation model and compare it with the actual results.

The results of the work can be implemented in further methods of study of emissions of harmful substances, as well as to improve its measurement methods.

The ways of future research are to increase the database of road tests in order to improve the accuracy of the simulation model, which will reduce the cost of environmental pollution researches from the harmful substances in exhaust gases of motor vehicles.

KEYWORDS: VEHICLE’S EMISSIONS, IMITATION MODEL, EQUIVALENT COEFFICIENT, ENVIRONMENT, HARMFUL SUBSTANCES.

AUTOR:

JAWORSKI Artur, dr inż., Politechnika Rzeszowska, adiunkt, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, e-mail: ajaworsk@prz.edu.pl, tel.: +48178651506, 35-959, Rzeszów, Polska, Al. Powstańców Warszawy 12, orcid.org/0000-0002-1599-1711.

MĄDZIEL Maksymilian, mgr inż., Politechnika Rzeszowska, asystent, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, mmadziel@prz.edu.pl, tel.: +48178651531, 35-959, Rzeszów, Polska, Al. Powstańców Warszawy 12, orcid.org/0000-0002-3957-8294.

AUTHOR:

JAWORSKI Artur, PhD, Rzeszow University of Technology, associate professor of the internal combustion engines and transport department, e-mail: ajaworsk@prz.edu.pl, tel.: +48178651506, 35-959, Rzeszow, Poland, Av. Powstancow Warszawy 12, orcid.org/0000-0002-1599-1711

MĄDZIEL Maksymilian, Rzeszow University of Technology, assistant of the internal combustion engines and transport department, mmadziel@prz.edu.pl, tel.: +48 178651531, 35-959, Rzeszow, Poland, Av. Powstancow Warszawy 12, orcid.org/0000-0002-3957-8294.

АВТОРИ:

ЯВОРСЬКІ Артур, кандидат технічних наук, Жешовська Політехніка, доцент кафедри двигунів внутрішнього згоряння і транспорту, e-mail: ajaworsk@prz.edu.pl, тел.: +48178651506, 35-959, Жешув, Польща, бульвар Повстанців Варшави 12, orcid.org/0000-0002-1599-1711.

МОНДЗИЄЛ Максиміліан, магістр, Жешовська Політехніка, асистент, Кафедра двигунів внутрішнього згоряння і транспорту, mmadziel@prz.edu.pl, тел.: +48178651531, 35-959, Жешув, Польща, бульвар Повстанців Варшави 12, orcid.org/0000-0002-3957-8294.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гутаревич Ю.Ф., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри «Двигуни і теплотехніка», Київ, Україна.

ЗЕЛІНЬСКА Едита, кандидат технічних наук, Жешовська Політехніка, доцент, кафедра двигунів внутрішнього згоряння і транспорту, Жешув, Польща.

REVIEWER:

Gutarevych Yu.F., Doctor of Technical Science, professor, National Transport University, Head of the Engines and Heating Engineering Department, Kyiv, Ukraine.

ZIELINSKA Edyta, PhD., Rzeszow University of Technology, associate professor of the internal combustion engines and transport department, Rzeszow, Poland.