

Полив'янчук А.П., професор кафедри
«Автомобілі та транспортний менеджмент», д-р техн. наук, професор
Рзасв С.Р., магістрант кафедри
«Автомобілі та транспортний менеджмент»
Вінницький національний технічний університет

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТРАНСПОРТНИХ ДИЗЕЛІВ - МІКРОТУНЕЛІВ

Анотація. Проаналізовано вимоги нормативних документів щодо умов використання еталонних повнопотокових і компактних частковопотокових систем екологічної діагностики транспортних дизелів, світовий та вітчизняний досвід їх експлуатації. Розроблено математичні моделі для визначення температури проби в цих системах та результуючої похибки вимірювань нормованого показника - масового викиду твердих частинок з відпрацьованими газами дизеля. За результатами випробувань дизелів 1Ч12/14 та 4ЧН12/14 за автомобільним циклом ESC доведено доцільність регулювання температури проби в найбільш компактній вимірювальній системі – мікротунелі з метою підвищення її точності.

Ключові слова: транспортний дизель, екологічна діагностика, відпрацьовані гази, тверді частинки, мікротунель.

Проблематика досліджень. При використанні компактних систем екологічної діагностики автомобільних дизелів – міні- та мікротунелів слід виконувати вимогу щодо забезпечення їх точності: відносні відхилення результатів вимірювань нормованого показника РМ – масового викиду твердих частинок з відпрацьованими газами (ВГ), визначені компактною (частковопотоковою) та еталонною (повнопотоковою) системами не повинні перевищувати $\pm 5\%$ [1, 2]. При використанні компактних тунелів при вимірюванні показника РМ виникає методична похибка вимірювань цієї величини – δPM_t , обумовлена зміною температури розбавлених ВГ у тунелі, від якої залежить маса розчинної органічної фракції (РОФ) у складі ТЧ [3-5]. Похибка δPM_t може бути усунена за рахунок використання в компактних системах регуляторів температури проби, які забезпечують відповідні еталонній системі умови розбавлення ВГ. Оскільки такі регулятори є вартісними, високотехнологічними пристроями, встановлення яких ускладнює та здорожує вимірювальні системи, доцільність їх використання повинна бути досліджена.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У відповідності до вимог нормативних документів – Правил ЄЕК ООН R-49, міжнародного стандарту ISO 8178 та ін. вимірювання масових викидів ТЧ від автомобільних дизелів можуть здійснюватися з використанням різних вимірювальних систем [1]: еталонних повнопотокових тунелів з 1 та 2-кратним розбавленням ВГ чистим повітрям та компактних частковопотокових тунелів, які поділяються на мінітунелі (мають діаметр 7,5...12 см і довжину 75...120 см) та мікротунелі (мають діаметр 2,5...4 см і довжину 25...40 см). До найбільш відомих частковопотокових тунелів відносяться: мінітунель з ізокінетичним пробовідбірником МТ 474 (AVL), мінітунель багатотрубного типу (Mitsubishi), мікротунелі з диференціальним способом визначення масової витрати ВГ – SPC 472 (AVL), РТР 2000 (Pirburg) та ін. [6-9].

Для визначення нормованого екологічного показника РМ – середньоексплуатаційного масового викиду ТЧ з ВГ проводяться стендові випробування автомобільних дизелів за регламентованими випробувальними циклами, які складаються з нормованих режимів роботи двигуна з заданими значеннями числа обертів колінчастого валу – n , навантаження на вал двигуна – L , вагового фактору – WF , який враховує відносний час роботи дизеля на режимі в процесі експлуатації, та тривалості режиму випробувань – t . При цьому в тунелях можуть використовуватись різні режими розбавлення ВГ повітрям: D_1 – режим з постійною масовою витратою розбавлених ВГ або CVS-режим; D_2 – CVS-режим з зовнішнім повітряним охолодженням тунелю; D_3 – режим з постійним коефіцієнтом розбавлення ВГ; D_4 – режим з постійним коефіцієнтом розбавлення ВГ та зовнішнім повітряним охолодженням тунелю.

Ступінь впливу температури проби в тунелі на контрольований масовий викид ТЧ може бути оцінено за результатами експериментальних досліджень зарубіжних та вітчизняних авторів [7,9,10], які свідчать про наступне: 1) збільшення температури розбавлених ВГ перед фільтрами – t_f призводить до зменшення контрольованого за масою навішування ТЧ викиду ТЧ – m_f і навпаки; 2) вплив температури t_f на величину m_f може бути врахований за допомогою встановлених емпіричних лінійних залежностей [7, 10]; 3) значення коефіцієнту пропорційності цих залежностей залежить від режиму роботи двигуна: при збільшенні потужності дизеля їх величина зменшується.

Постановка завдання. Мета роботи полягала у оцінюванні доцільності регулювання температури проби в компактних системах – міні- та мікротунелях на основі досліджень їх точності з врахуванням

методичної похибки вимірювань показника РМ. Для досягнення цієї мети були вирішені наступні завдання: 1) аналіз літературних джерел за тематикою дослідження; 2) розробка математичних моделей для визначення температури проби розбавлених ВГ в тунелі та результуючої похибки вимірювань показника РМ – δPM_i ; 3) дослідження доцільності регулювання температури проби в міні- та мікротунелях.

Виклад основного матеріалу дослідження.

В основі математичної моделі для визначення температури проби розбавлених ВГ в тунелі – t_f , використано рівняння теплового балансу процесу теплообміну нагрітого газу в циліндричному трубопроводі з навколишнім повітрям [11]. В результаті перетворення цього рівняння отримано основну розрахункову формулу, для визначення температури газового потоку в кінці трубопроводів протікання розбавлених ВГ. Послідовне обчислення кінцевих температур газових потоків у всіх трубопроводах системи розбавлення ВГ дозволяє визначити температуру проби перед фільтром – t_f .

Математична модель для визначення результуючої похибки вимірювань показника РМ – δPM передбачає визначення цієї величини, як суми її інструментальної – δPM_{in} та методичної – δPM_t складових: Величина δPT_{in} визначається за допомогою залежності для обчислення похибки результату непрямих вимірювань [10]. Похибка δPM_t чисельно дорівнює відносному відхиленню контрольованого масового викиду ТЧ, визначеного при фактичних значеннях температур t_{fi} , від масового викиду ТЧ, визначеного при значеннях температур t_{f0i} , прийнятих за базові і відповідних розбавленню ВГ у еталонній системі при $t_{dil} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{f(max)} = 52 \text{ }^\circ\text{C}$ [11].

Дослідження доцільності регулювання температури проби в міні- та мікротунелях проведені за критерієм відносного відхилення результатів вимірювань показника РМ часковопотоковою та еталонною системами – δPM . На основі результатів екологічних випробувань дизелів 1Ч12/14, оснащеного мінітунелем МТ-1, та 4ЧН12/14, оснащеного мікротунелем МКТ-2 [5, 10, 12] за 13-ступінчастим циклом ESC (рис. 1) за допомогою наведених математичних моделей проведено розрахункові дослідження абсолютних відхилень температур проб в повнопотоковій системі з діаметром 46 см від аналогічних температур в мінітунелі з діаметром 10 см та мікротунелі з діаметром 3 см – Δt_f , а також виникаючих при цьому методичних похибок вимірювань масових викидів ТЧ – m_f (рис. 2).

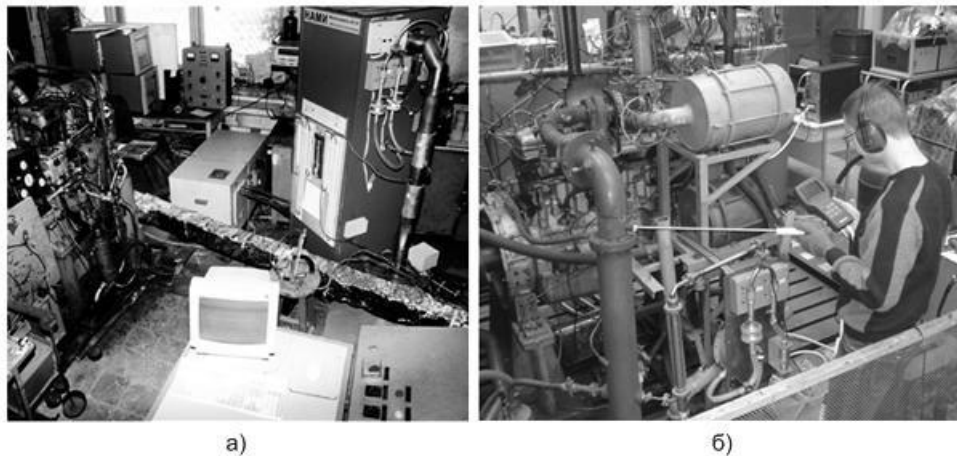


Рисунок 1 – Гальмівні стенди для проведення екологічної діагностики:
а) дизеля 1Ч12/14 з мінітунелем МТ-1; б) дизеля 4ЧН12/14 з мікротунелем.

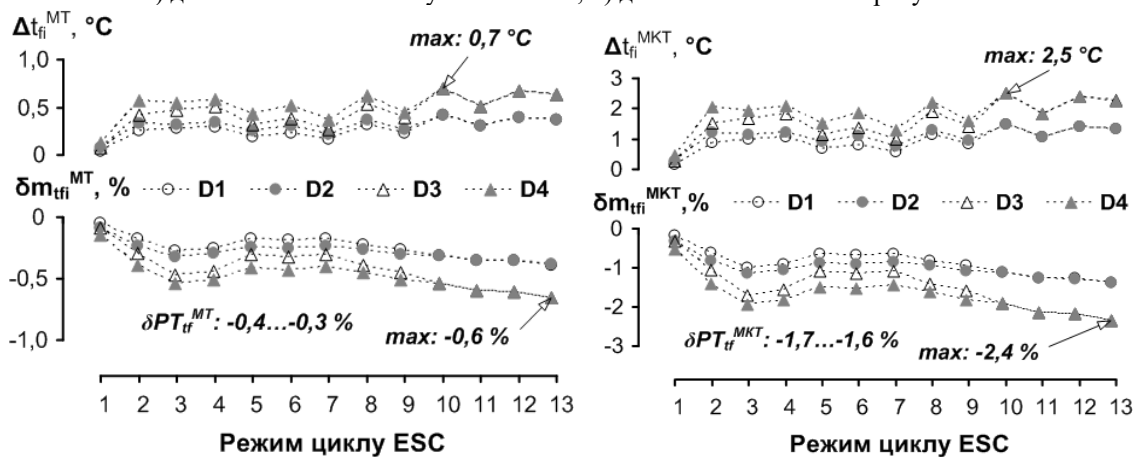


Рисунок 2 – Результати експериментальних досліджень точності міні- та мікротунелів

Результати проведених досліджень свідчать про наступне: теплові умови розбавлення ВГ в мінітунелі і еталонній системі є приблизно рівними: відхилення температур проби в цих системах є меншими 0,7 °С, виникаючі при цьому методичні похибки вимірювань показника РМ не перевищують 0,4 % і не впливають суттєво на результуючу похибку тунелю; теплові умови розбавлення ВГ в мікротунелі і еталонній системі мають суттєві відмінності: відхилення температур проби в цих системах досягають 2,5 °С, виникаючі при цьому методичні похибки вимірювань РМ складають 1,6 – 1,7 %, що призводить до збільшення результуючої похибки до $\pm 5,9\%$.

Таким чином регулювання температури проби в мінітунелях можна не застосовувати, а в мікротунелі воно є доцільним і дозволяє забезпечити потрібну точність вимірювань показника РМ.

Висновки. 1. За результатами аналізу нормативних документів – Правил ЄЕК ООН R-49, R-96, міжнародного стандарту ISO 8178 та ін., світового та вітчизняного досвіду використання розбавляючих тунелів встановлено: технічні характеристики та умови експлуатації еталонних повнопотокових та частковопотокових тунелів, емпіричні залежності, що характеризують ступінь впливу температури проби в тунелі на точність вимірювань масових викидів ТЧ на різних режимах роботи дизеля. 2. Розроблено математичні моделі для визначення: температур проби розбавлених повітрям ВГ в тунелях різних типів, результуючої похибки визначення середньоексплуатаційного викиду ТЧ - показника РМ з врахуванням впливу температури проби в тунелі на точність вимірювань РМ. 3. На основі результатів випробувань дизелів 1Ч12/14 та 4ЧН12/14 за циклом ESC та розроблених математичних моделей проведено розрахункові дослідження з оцінювання впливу на точність мінітунелю та мікротунелю з діаметрами 10 см і 3 см, відповідно, температурних режимів пробопідготовки, які порівнювались з еталонною системою з діаметром 46 см. Результати досліджень довели доцільність регулювання температури проби в мікротунелі для усунення суттєвих методичних похибок вимірювань показника РМ, які складають -1,6 ... -1,7 %. В мінітунелі відповідні похибки є не суттєвими: -0,3 ... -0,4 %, тому потреби в регулюванні температури проби в цій системі немає.

Література

1. Regulation № 49-06. Uniform Provisions Concerning the Measures to be Taken Against the Emission of Gaseous and Particulate Pollutants from Compression-ignition Engines and Positive-ignition Engines for Use in Vehicles. E/ECE/TRANS/505, 2013. – 541 p.
2. Lianga Z. Investigation of SVOC nanoparticle emission from light duty diesel engine using GC×GC-ToF-MS / Z. Lianga, J. Tiana, S. Zeraati Rezaeia, Y. Zhanga et al. // School of Mechanical Engineering, University of Birmingham, UK, 2022. – 31 p.
3. Foote E. Evaluation of Partial Flow Dilution Methodology for Light Duty Particulate Mass Measurement / E. Foote, M. Maricq, M. Sherman, D. Carpenter et al. // SAE Technical Paper № 2013-01-1567, 2023. – 10 p.
4. Клименко О.А. Дослідження та створення перспективної системи для визначення масових викидів забруднюючих речовин у відпрацьованих газах двигунів / О.А. Клименко, А.М. Редзюк, О.В. Кудренко, С.О. Ричок // Автошляховик України, 2012. – № 5 (229) – С. 2–8.
5. Polivyanchuk A.P. Mathematical modeling of diesel engine operation mode influence on mass emission of particulate matter with exhaust gases using microtunnel / A.P. Polivyanchuk, I.V. Gritsuk, E.A. Skuridina // Theoretical and practical aspects of the development of the European Research Area: monograph / edited by authors. – 4th ed. – Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2020. – P. 269-301.
6. Редзюк А.М. Щодо визначення масових викидів забруднюючих речовин двигунами колісних транспортних засобів / А.М. Редзюк, О.А. Клименко, О.В. Кудренко // Автошляховик України, 2012. – № 4 (228) – С. 2–7.
7. Alozie, N. Influence of Dilution Conditions on Diesel Exhaust Particle Measurement Using a Mixing Tube Diluter / N. Alozie, D. Peirce, A. Lindner, W. Winklmayr et al. // SAE Technical Paper № 2014-01-1568, 2014. – 14 p.
8. Smart Sampler PC SPC 472. PC program for SPC 472 control. – AVL, List GmbH Graz, Austria, 1993. – 76 p.
9. Russel R. Development of a Miniaturized, Dilution-Based Diesel Engine Particulate Sampling System for Gravimetric Measurement of Particulates / R. Russel // SAE Techn. Pap. Ser. №931190, 1993. – 12 p.
10. Polivyanchuk A.P. Features of Environmental Diagnostics of Heat Motors and Boiler Plants by Information Methods / A. Polivyanchuk, M. Ahiev, A. Kagramanian, A. Baranovskis, O. Samarin // ICTE in Transportation and Logistics 2019. Series: Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Springer, Cham, 2020. – P. 360-367.
11. Полив'ячук А.П. Підвищення ефективності систем контролю викидів твердих частинок з відпрацьованими газами дизелів: монографія / А.П. Полив'ячук. – Х.: ХНАДУ, 2015. – 224 с.