

А.П. Полив'янчук, І.В. Парсаданов, О.І. Каслін, О.О. Скурідіна

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ВИКИДІВ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК З ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ ДИЗЕЛІВ

Запропоновано концепцію створення на базі компактних і мобільних міні- та мікротунелів універсальних систем екологічної сертифікації транспортних дизельних двигунів, які дозволяють визначати показники масових, питомих та середньоексплуатаційних викидів твердих частинок з відпрацьованими газами дизелів. В основі концепції лежать принципи підвищення компактності, динамічності, точності і ефективності керування вимірювального обладнання. Наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень і розробок, які складають науково-практичну базу для підвищення універсальності міні- та мікротунелів: математичні моделі результуючої похибки вимірювань викиду твердих частинок, теплового стану газової проби в тунелі, комплексної оцінки ефективності тунелю за критеріями точності і економічної ефективності використання; методи: компенсаційного відбору проби відпрацьованих газів, динамічного контролю твердих частинок з використанням оптико-електронного чуттєвого елемента, прискореного вимірювання викиду твердих частинок; макетні зразки мінітунелю з ізокінетичним пробовідбірником МТ-1, мікротунелів МКТ-1 і МКТ-2; випробувальних стендів для досліджень теплових процесів в тунелі, ізокінетичного та компенсаційного режимів відбору проб відпрацьованих газів, результатів експериментального відпрацювання сертифікаційних процедур вимірювань викидів твердих частинок автомобільних, тракторних та тепловозних дизелів.

Вступ

Сьогодні при створенні транспортних двигунів особливу увагу приділяють їх екологічним показникам, які характеризують негативний вплив цих силових установок на навколишнє середовище. Особливо це стосується дизелів, робочі процеси в яких супроводжуються утворенням більш токсичних та агресивних речовин, ніж при роботі бензинових та газових двигунів.

Серед найбільш небезпечних речовин, що містяться у відпрацьованих газах (ВГ) дизелів, є тверді частинки (ТЧ), які визначають як весь матеріал, зібраний на спеціальних фільтруючих засобах після пропускання крізь них ВГ, розбавлених чистим повітрям до температури, що не перевищує 52 °С [1].

Масовий викид ТЧ з ВГ дизелів є нормативним показником, для визначення якого використовують спеціальні вимірювальні системи – розбавляючі тунелі, найбільш поширеними з яких за своєю мобільністю та зручністю у експлуатації є мінітунелі (МТ) та мікротунелі (МКТ). При проектуванні сучасних тунелів вирішують актуальну задачу підвищення їх універсальності – можливостей використання при випробуваннях дизелів різних типів та реалізації різних випробувальних процедур – стаціонарних і транзйентних циклів. В даній роботі авторами на основі досвіду розробки та експлуатації тунелів запропоновано концепцію створення універсальних систем екологічного діагностування транспортних дизелів на базі МТ і МКТ.

Постановка задачі

Метою роботи є створення концептуальних основ для розробки на базі міні- та мікротунелів універсальних мобільних систем екологічного діагностування транспортних дизелів за показниками масових, питомих та середньоексплуатаційних викидів ТЧ з ВГ.

Для досягнення цієї мети було систематизовано результати аналізу світового досвіду, результати теоретичних та експериментальних досліджень, які проводились під керівництвом професора Звонова В.О. співробітниками Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля у період 1996-2008 рр. та були продовжені фахівцями Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» та Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова у період 2009-2017 рр.

Загальна характеристика компонентів схем міні- та мікротунелів. МТ і МКТ відносяться до частковопотокових систем відбору проб ВГ дизеля, які є більш компактними і мобільними ніж еталонні повнопотокові тунелі (рис. 1).

В МТ модулі пробопідготовки – розбавлення ВГ повітрям та відбору проб ТЧ на фільтри, мають різні газодувки з масовими витратами 10...50 г/с та 1,2...2,5 г/с, відповідно; розміри трубопроводу розбавлення ВГ – тунелю цих систем – діаметр (D) × довжина (L) складають 7,5...10 × 75...100 см (рис. 1,а).

В МКТ вузлі пробопідготовки і відбору проб ТЧ на фільтри поєднані у один модуль з загальною

газовувою, продуктивність якої становить 1,2...2,5 г/с; це дозволяє скоротити габаритні розміри тунелю до $D \times L = 2,5...4,0 \times 25...40$ см (рис. 1,б).

МТ і МКТ використовуються для визначення масових, питомих та середньоексплуатаційних викидів ТЧ в ході проведення довільних, дослідницьких та сертифікаційних випробувань дизелів, які проводяться у відповідності до вимог нормативних документів [1-3].

Концепція створення на базі міні- та мікротунелів універсальних систем екологічного діагностування дизелів базується на чотирьох основних принципах[4]:

1) підвищення компактності обладнання за

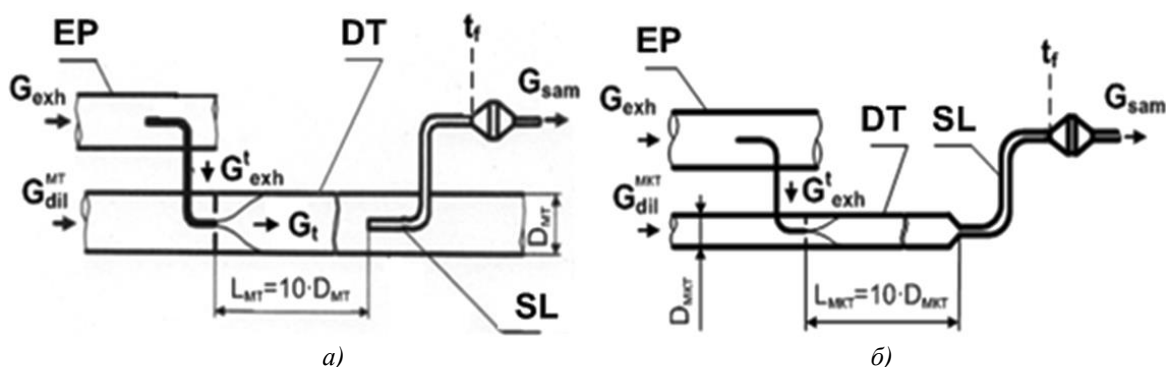


Рис. 1. Принципові схеми частковопотокових систем контролю викидів дизельних ТЧ: а) мінітунелю; б) мікротунелю

3) підвищення точності гравіметричного методу вимірювань за рахунок зменшення його інструментальної та методичної похибок; це дозволить забезпечити потрібну точність МТ і МКТ в умовах зменшення норм на викиди ТЧ від дизелів;

4) модернізація алгоритму роботи та програмного забезпечення тунелів шляхом врахування в них існуючих та перспективних процедур випробувань різних дизелів та методик обробки даних; це дозволить розширити галузь застосування МТ і МКТ на всі типи транспортних дизелів.

Науково-практична база для підвищення універсальності МТ і МКТ складається з наступних результатів досліджень та розробок.

Математичні моделі для визначення технічних характеристик та показників ефективності тунелів:

– математична модель теплового стану проби в тунелі, яка дозволяє визначати потрібні параметри процесу розбавлення ВГ повітрям в тунелі – коефіцієнт розбавлення та температуру проби перед фільтром для відбору ТЧ [9]; ці параметри повинні відповідати умовам розбавлення ВГ в повнопотоковому тунелі, що забезпечує виключення

рахунок мінімізації масогабаритних показників тунелів; це дозволить підвищити їх мобільність та зручність використання, зменшити продуктивність газодувок, енергетичні і економічні витрати на їх функціонування;

2) підвищення динамічності систем пробовідготовки та відбору проб ТЧ за рахунок використання малоінерційних методів контролю робочих процесів цих систем; це забезпечить можливість використання МТ і МКТ при виконанні високодинамічних випробувальних циклів – European Transient Cycle (ETC), Worldwide Transient Vehicle Cycle (WTVC), Worldwideheavy-dutytransientcycle (WHTC) та ін. [5–8];

методичної похибки гравіметричного методу контролю викидів дизельних ТЧ;

– математична модель для визначення результуючої похибки вимірювань масового викиду ТЧ як суми її інструментальної та методичної складових [9]; ця модель дозволяє оцінювати точність МТ і МКТ та визначати вплив на неї похибок вимірювального обладнання та умов розбавлення ВГ в тунелі;

– комплексна математична модель оцінки ефективності тунеля за трьома критеріями: точності вимірювань, потрібної витрати палива на проведення випробувань та вартості процедури випробувань [9]; на основі цієї моделі може проводитись оптимізація технічних та експлуатаційних параметрів МТ і МКТ за вказаними критеріями.

Нові методи контролю проби ВГ і концентрації ТЧ в тунелі:

– компенсаційний метод контролю проби ВГ, яка відбирається з вихлопної системи дизеля [10]; цей метод забезпечує потрібну точність вимірювань та є у 5...8 разів дешевим, ніж відомий аналог – диференційний метод, який використовується у мікротунелі AVL SPC 472 [11, 12];

– метод динамічного контролю викидів ТЧ з оптико-електронним чутливим елементом, який дозволяє визначати миттєві значення концентрацій ТЧ у ВГ при роботі дизеля на сталих та несталих режимах випробувань [9];

– метод прискореного виміру масового викиду ТЧ з ВГ дизеля, який дозволяє визначати цей екологічний показник з мінімально можливими витратами часу при умові забезпечення потрібної точності вимірювань [9]; найбільш затребуваний цей метод у екологічному діагностуванні габаритних дизелів – тепловозних, суднових та ін., випробування

яких характеризуються значними витратами палива та мають високу вартість.

Макетні зразки систем контролю масових викидів ТЧ з ВГ дизелів, які розроблені у відповідності до вимог міжнародних стандартів (рис. 2, 3) [1-3]:

– мінутунель з ізокінетичним пробовідбірником МТ-1, який має такі технічні характеристики: розміри тунелю – $D \times L = 8,5 \times 100$ см; продуктивність газодувки: модулю розбавлення ВГ – 25 г/с, лінії відбору проб ТЧ – 1,2 г/с; режим відбору ВГ – ізокінетичний [9];

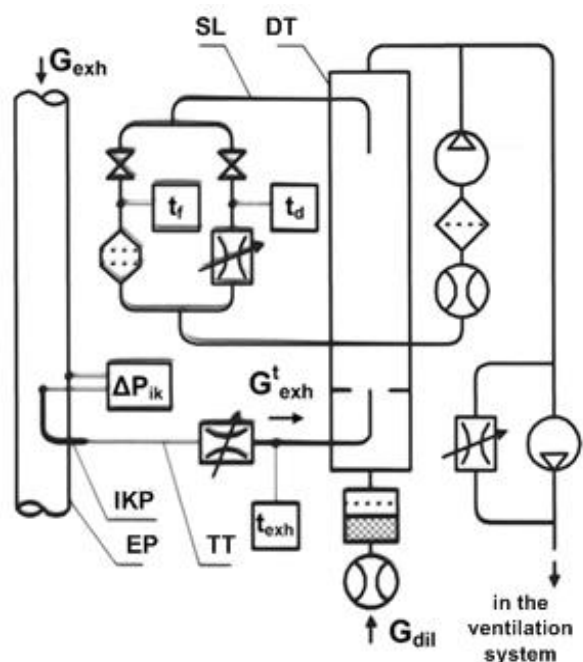


Рис. 2. Принципова схема та загальний вигляд мінутунелю МТ-1

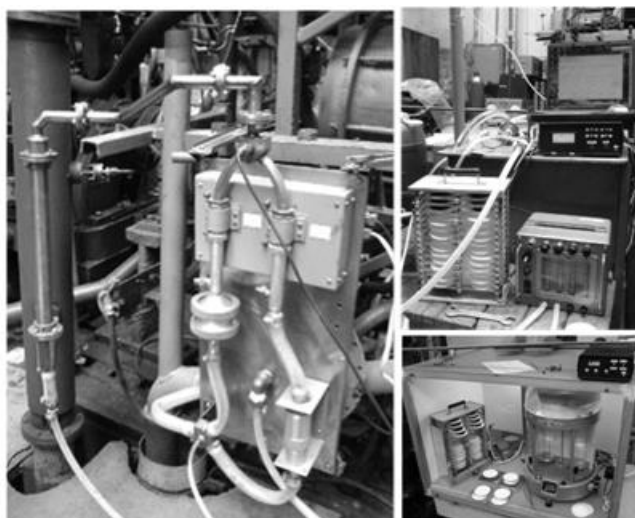
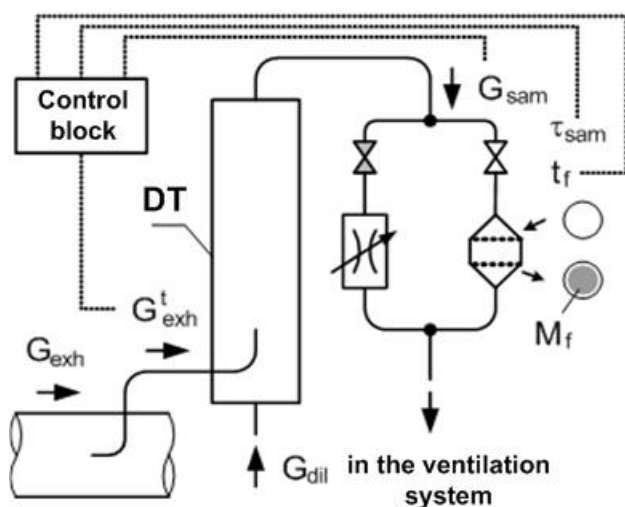


Рис. 3. Принципова схема і загальний вигляд мікротунелю МКТ-2 та його елементів

– мікротунелі: *МКТ-1* – неавтоматизована система та *МКТ-2* – автоматизована система, які мають такі технічні характеристики: розміри тунелю – $D \times L = 3,0 \times 30$ см; продуктивність загальної газодувки модулю розбавлення ВГ та лінії відбору

проб ТЧ – 1,2 г/с; режими відбору ВГ – ізокінетичний, пропорційний, постійний; режим керування *МКТ-2* – від ПК з використанням спеціально розробленого програмного забезпечення (рис. 4) [9].

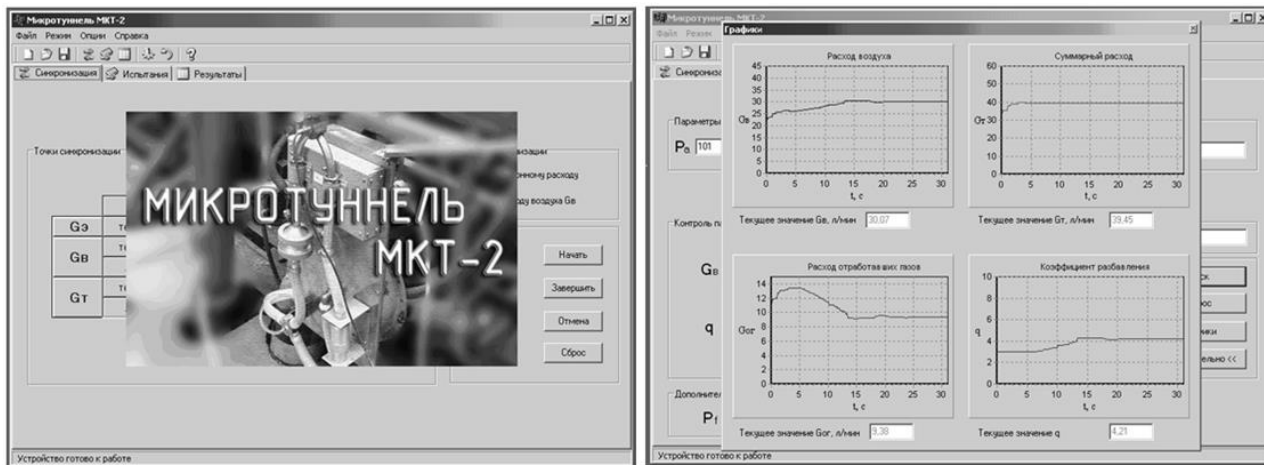


Рис. 4. Програмне забезпечення мікротунелю МКТ-2

Випробувальні стенди для досліджень робочих процесів у тунелях:

– стенд для досліджень теплових процесів у тунелях (рис. 5); на цьому стенді було досліджено процес теплопередачі через стінку тунелю та встановлено критеріальне рівняння цього процесу у безрозмірній формі [9];

– безмоторний стенд для досліджень ізокінетичного та компенсаційного режимів відбору проб ВГ (рис. 6); на цьому стенді були експериментально визначені умови використання ізокінетичного пробовідбірника мінітунелю МТ-1 та підтверджено практичну придатність компенсаційного методу контролю проби ВГ [9].

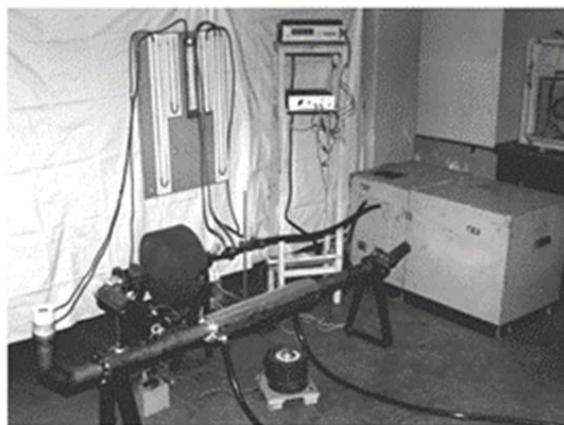
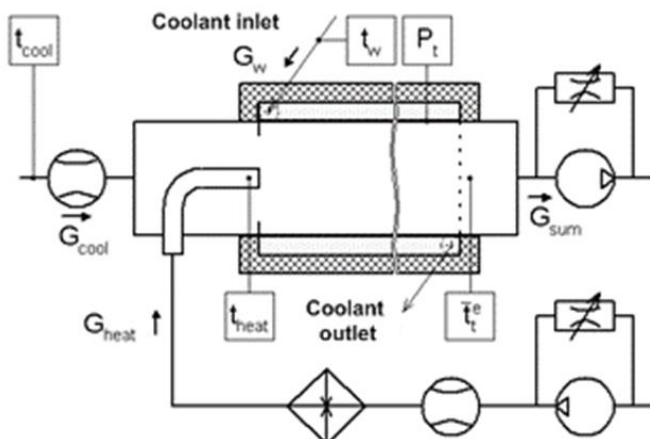


Рис. 5. Принципова схема та загальний вигляд стенду для досліджень теплових процесів у тунелях

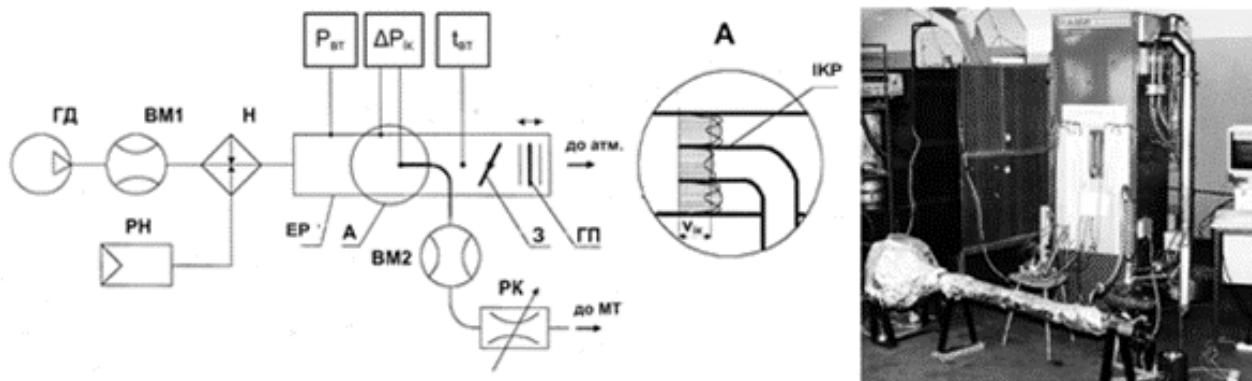


Рис. 6. Принципова схема та загальний вигляд безмоторного випробувального стенду

Результати експериментального відпрацювання процедур сертифікаційних випробувань дизелів: автомобільного 4СН12/14 – за 13-ступінчастим циклом R-49 та циклом ESC, тракторного

Д-242 – за 8-ступінчастим циклом R-96 і тепловозного 6ДН – за циклами ISO-8178F та ДСТУ 32.01-94 (рис. 7) [9].

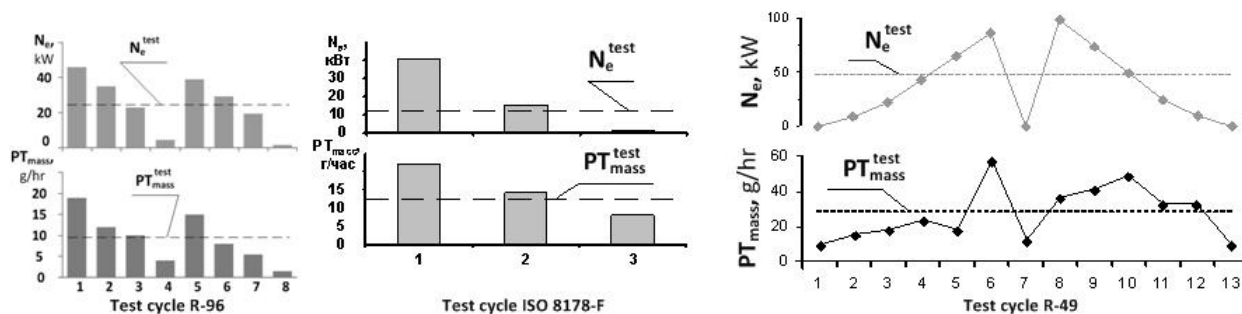
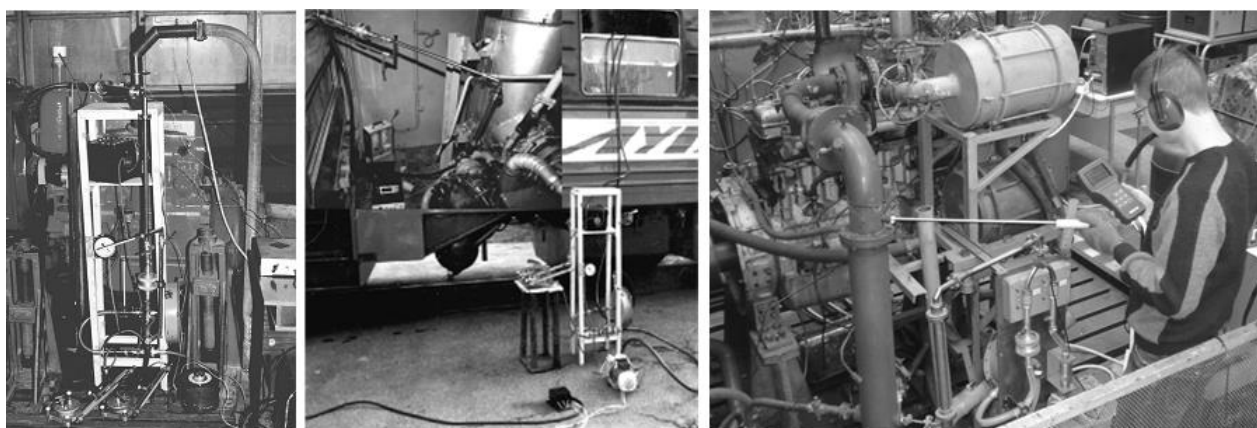


Рис. 7. Екологічні випробування тракторного, тепловозного і автомобільного дизелів з МКТ-1 і МКТ-2

На базі приведених результатів досліджень може бути створено сучасну вітчизняну вимірювальну систему екологічного діагностування і сертифікації транспортних дизелів різного призначення за нормованим показником масового викиду ТЧ.

Висновки

1. З розширенням області нормування масових викидів ТЧ з ВГ дизелів - автомобільних, тепловозних, сільськогосподарського призначення та

ін., виникає необхідність підвищення універсальності систем контролю цього екологічного показника – розбавляючих тунелів, найбільш ефективними з яких є компактні недорогі мікротунелі. В роботі обґрунтовано доцільність використання при створенні мікротунелів принципів: підвищення компактності обладнання; підвищення динамічності систем прободготовки та відбору проб ТЧ; підвищення точності гравіметричного методу ви-

мірювань; модернізації алгоритму роботи та програмного забезпечення тунелів. На базі цих принципів можливе створення вітчизняних, доступних за ціною, універсальних систем.

2. Систематизовано досвід авторів у створенні та експлуатації тунелів, який містить у собі наступні науково-практичні розробки: математичні моделі для визначення технічних характеристик та показників ефективності тунелів - точності вимірювань, потрібної витрати палива на проведення випробувань, вартості випробувань; методи контролю проби ВГ і концентрації ТЧ в тунелі; макетні зразки систем контролю масових викидів ТЧ з ВГ дизелів – мінітунелю з ізокінетичним пробовідбірником МТ-1 та мікротунелю МКТ-2; випробувальні стенди для досліджень робочих процесів у тунелях; результати експериментального відпрацювання процедур сертифікаційних випробувань дизелів – циклів R-49, R-96, ISO-8178-F та ін.

Список літератури:

1. Regulation No 49. Revision 6. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) and natural gas (NG) engines as well as positiveignition (P.I.) engines fuelled with liquefied petroleum gas (LPG) and vehicles equipped with C.I. and NG engines and P.I. engines fuelled with LPG, with regard to the emissions of pollutants by the engine / United Nations Economic and Social Council Economic Commission for Europe Inland Transport Committee Working Party on the Construction of Vehicles. – E/ECE/TRANS/505, 2013. – 434 p. 2. Regulation № 96. Revision 3. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) engines to be installed in agricultural and forestry tractors with regard to the emissions of pollutants by the engine / United Nations Economic and Social Council Economic Commission for Europe Inland Transport Committee Working Party on the Construction of Vehicles. – E/ECE/TRANS/505, 2014. – 416 p. 3. Reciprocating internal combustion engines. Exhaust emission measurement. Part 1: Test-bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions : ISO 8178-1:2017. – 150 p. 4. Полив'ячук А.П. Створення на базі мікротунелю універсальної системи динамічного контролю викидів дизельних твердих частинок / А.П. Полив'ячук, О.І. Каслін, М.Ф. Смирний, О.П. Строков, О.О. Скурідіна // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2017. – №3-4(28). – С. 139–151. 5. Steven H. Development of Worldwide Harmonized Heavyduty Engine Emissions Test Cycle. Final Report ECE-GRPE WHDC Working Group. Informal document No2 GRPE 42nd session. / Heinz Steven. – TRANS/WP 29/GRPE, 2001. – 58 p. 6. Tsugio A. Particulate matter emission characteristics under transient pattern driving / Tsugio A., Tatsuji, S., Morimasa, H. // SAE Technical Papers. – 1989. – 890468. – 151–163 pp. [in English]. 7. Anderson J.D. UK Particle Measurement Programme. Phase 2. Heavy Duty Methodology Development. Final Report. / John D. Anderson. – Ricardo Consulting Engineers Ltd. - 2003. – 222 p. 8. Worldwide Harmonized Heavy Duty Emissions Certification Procedure. Draft Global Technical Regulation (GTR). UN/ECE-WP 29 – GRPE WHDC Working Group :

Informal Document № GRPE-48-7:2004. – 86 p. 9. Полив'ячук А.П. Підвищення ефективності систем контролю викидів твердих частинок з відпрацьованими газами дизелів. Монографія. / А.П. Полив'ячук. – Х.: ХНАДУ, 2015. – 220 с. 10. Полив'ячук А.П. Впровадження компенсаційного методу контролю проби в універсальних системах екологічного діагностування дизелів – мікротунелях / А.П. Полив'ячук, О.І. Каслін, М.Ф. Смирний, О.П. Строков, О.О. Скурідіна // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія " Екологія". – 2017. – №17. – С. 80–88. 11. Smart Sampler PC SPC 472. PC program for SPC 472 control. AVL. – List GmbH Graz, 1993. – 76 p. 12. Investigation of SVOC nanoparticle emission from light duty diesel engine using GC×GC-ToF-MS / Lianga Z., Tiana J., Rezaeia S., Zhanga Y. – School of Mechanical Engineering, University of Birmingham, 2015. – 31 p.

Bibliography (transliterated):

1. Regulation No 49. Revision 6. (2013), Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) and natural gas (NG) engines as well as positiveignition (P.I.) engines fuelled with liquefied petroleum gas (LPG) and vehicles equipped with C.I. and NG engines and P.I. engines fuelled with LPG, with regard to the emissions of pollutants by the engine., United Nations Economic and Social Council Economic Commission for Europe Inland Transport Committee Working Party on the Construction of Vehicles, E/ECE/TRANS/505, 434 p. 2. Regulation № 96. Revision 3. (2014), Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) engines to be installed in agricultural and forestry tractors with regard to the emissions of pollutants by the engine., United Nations Economic and Social Council Economic Commission for Europe Inland Transport Committee Working Party on the Construction of Vehicles, E/ECE/TRANS/505, 416 p. 3. ISO 8178-1: 2017. (2017). Reciprocating internal combustion engines. Exhaust emission measurement. Part 1: Test-bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions, 150 p. 4. Polivyanchuk, A. P., Kaslin, O. I, Smirny, M. F., Stokov, O. P., Skuridina O. O. (2017), "Creation on the basis of the microtunnel of the universal system of dynamic control of emissions of diesel particulate matter", The man and the environment. Problems of neoeology ["Stvorenyya na bazi mikrotunelyu universal'noyi systemy dynamichnoho kontrolyu vykydiv dyzel'nykh tverdyykh chastynok", Lyudyna ta dovkiillya. Problemy neoeologohiyi], №. 3-4(28), pp. 139-151. 5. Steven, H. (2001). Development of Worldwide Harmonized Heavyduty Engine Emissions Test Cycle. Final Report ECE-GRPE WHDC Working Group. Informal document No2 GRPE 42nd session. TRANS/WP 29/GRPE/2001/2, 58 p. [in English]. 6. Tsugio, A., Tatsuji, S., Morimasa, H. (1989). "Particulate matter emission characteristics under transient pattern driving". SAE Technical Papers, 890468, pp. 151-163. [in English]. 7. Anderson, J.D. (2003). UK Particle Measurement Programme. Phase 2. Heavy Duty Methodology Development. Final Report. Ricardo Consulting Engineers Ltd. 222 p. [in English]. 8. Worldwide Harmonized Heavy Duty Emissions Certification Procedure (2004). Draft Global Technical Regulation (GTR). UN/ECE-WP 29. GRPE WHDC Working Group. Informal Document, GRPE-48-7, 86 p. 9. Polivyanchuk, A. P. (2015). Improved the efficiency of emission control systems for particulate matter with exhaust gases of diesel engines, Monograph. [Pidvyshchennya efektyvnosti system kontrolyu vykydiv tverdyykh chastynok z vidprats'ovanymy gazamy dyzeliv, Monografiya], KhNADU, 220 p. 10. Polivyanchuk, A. P., Kaslin, O. I, Smirny, M. F., Stokov, O. P., Skuridina O. O. (2017), "Implementation of the compensation method of control of a sample in universal systems of ecological diagnostics of diesel engines - microtunnels", Bulletin of Kharkiv National University named after V.N. Karazin. Series "Ecology" ["Vprovadzhennya kompensatsiynoho metodu kontrolyu proby v universal'nykh systemakh ekolohichnoho diahnostuvannya dyzeliv – mikrotunelyakh", Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho universytetu imeni V.N. Karazina. Seriya "Ekolohiya"], №. 17, pp. 80-88. 11. Smart Sampler PC SPC 472. (1993). PC program for SPC 472 control. AVL, List GmbH Graz, 76

p. 12. Lianga, Z., Tiana, J., Rezaeia, S., Zhanga, Y. (2015). "Investigation of SVOC nanoparticle emission from light duty diesel

engine using GC×GC-ToF-MS", School of Mechanical Engineering, University of Birmingham, 31 p. [in English].

Надійшла до редакції 14.12.2017 р.

Полив'янчук Андрій Павлович – докт. техн. наук, проф., професор кафедри інженерної екології міст Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, 61002, Україна, e-mail: arpmail@meta.ua.

Парсаданов Ігор Володимирович – докт. техн. наук, проф., головний науковий співробітник кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: parsadanov@kpi.kharkov.ua.

Каслін Олександр Ігорович – аспірант кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: dvs@kpi.kharkov.ua.

Скурідіна Олена Олександрівна – аспірант кафедри екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, Сєвєродонецьк, 93400, Україна, e-mail: icd@snu.edu.ua.

CONCEPTUAL BASES FOR THE CREATION OF UNIVERSAL SYSTEMS FOR CONTROLLING EMISSIONS OF PARTICULATE MATTER WITH EXHAUST GASES OF DIESEL ENGINES

A.P. Polivyanchuk, I.V. Parsadanov, O.I. Kaslin, O.O. Skuridina

The concept of creation on the basis of compact and mobile mini- and microtunnels of universal systems of ecological diagnosis of transport diesel engines, which allows to determine the indicators of mass, specific and average operating emissions of particulate matter with exhaust gases of diesel engines. The concept is based on the principles of increasing the compactness, dynamism, accuracy and efficiency of measuring equipment control. The results of theoretical and experimental researches and developments that make up the scientific and practical basis for increasing the universality of mini- and microtunnels are presented: mathematical models: the resulting error of measurements of particulate matter sejection, the thermal state of the gas sample in the tunnel, the complex estimation of the efficiency of the tunnel by the criteria of accuracy and economic efficiency using; methods: compensated sampling of exhaust gases, dynamic control of particulate matters using optoelectronic sensory element, accelerated measurement of particulate emissions; prototype samples: miniutunel with isokinetic sampler MT-1, microtunnels MKT-1 and MKT-2; test benches for researches of heat processes in the tunnel, isokinetic and compensating modes of sampling of exhaust gases, results of experimental testing of certification procedures for measurement of particulate emissions of automobile, tractor and locomotive diesel engines.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ ДИЗЕЛЕЙ

А.П.Поливянчук, И.В. Парсаданов, О.И. Каслин, Е.А. Скуридина

Предложена концепция создания на базе компактных и мобильных мини- и микротуннелей универсальных систем экологического диагностирования транспортных дизельных двигателей, которые позволяют определять показатели массовых, удельных и среднеексплуатационных выбросов твердых частиц с отработавшими газами дизелей. В основе концепции лежат принципы повышения компактности, динамичности, точности и эффективности управления измерительным оборудованием. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований и разработок, которые составляют научно-практическую базу для повышения универсальности мини- и микротуннелей: математические модели результирующей погрешности измерений выброса твердых частиц, теплового состояния газовой пробы в туннеле, комплексной оценки эффективности туннеля по критериям точности и экономической эффективности использования; методы компенсационного отбора пробы отработавших газов, динамического контроля твердых частиц с использованием оптико-электронного чувствительного элемента, ускоренного измерения выброса твердых частиц; макетные образцы минутуннеля с изокинетическим пробоотборником МТ-1, микротуннелей МКТ-1 и МКТ-2, испытательных стендов для исследований тепловых процессов в туннеле, изокинетического и компенсационного режимов отбора проб отработавших газов, результатов экспериментальной отработки сертификационных процедур измерений выбросов твердых частиц автомобильных, тракторных и тепловозных дизелей.