

А.П. Полив'янчук, М.Ф. Смирний, О.І. Каслін, О.О. Скурідіна, Ю.Л. Коваленко, В.С. Бекетов

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

СТВОРЕННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВІДПРАЦЮВАННЯ УНІВЕРСАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ І КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК

Описано універсальну систему екологічного діагностування теплових двигунів і котельних установок, створену на кафедрі ІЕМ ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. Розглянуто структуру, склад та функціональне призначення основних модулів цієї системи: інструментального, тестувально-демонстраційного і лабораторного. Приведено результати експериментального відпрацювання створеної вимірювальної системи на натурних об'єктах: двигунах легкового та вантажного автомобілів, газовій і твердопаливній котельнях.

Ключові слова: теплові двигуни, котельні установки, забруднюючі речовини, екологічне діагностування, універсальна система, мікротунель, експериментальне відпрацювання.

Вступ

Екологічність є одним з найбільш важливих показників якості сучасних теплових двигунів (ТД) і котельних установок (КУ), що обумовлено значним негативним впливом хімічного та фізичного характеру цих об'єктів на довкілля. Сумарна частка у забрудненні атмосферного повітря міського середовища комунальними КУ та транспортними ДВЗ досягає 90%. Систематичні викиди забруднюючих речовин з димовими газами котелень та відпрацьованими газами двигунів призводять до погіршення показників якості навколишнього середовища (НС), підвищення канцерогенної небезпеки та виникнення регіональних і глобальних екологічних проблем. У зв'язку з цим створення систем екологічного діагностування ТД і КУ, які дозволяють ефективно оцінювати вплив цих об'єктів на довкілля, є актуальним напрямком досліджень.

До найбільш значимих властивостей систем екологічного діагностування ТД і КУ слід віднести:

– універсальність – можливість використання на моторних і безмоторних стендах випробувальних стендах, натурних об'єктах, різних за типом, призначенням, габаритами;

– багатофункціональність – можливість одночасного визначення екологічних показників, які характеризують хімічні та фізичні забруднення навколишнього середовища, зокрема масові і питомі викиди у атмосферу забруднюючих речовин і парникових газів з димовими газами (ДГ) котелень і відпрацьованими газами (ВГ) двигунів, акустичні і теплові забруднення;

– забезпечення регламентованої точності вимірювань при меншій ніж у аналогів вартості обладнання;

– компактність, мобільність та зручність у експлуатації;

– забезпечення можливості тривалої автономної роботи без використання електричних мереж;

– висока інформативність результатів досліджень;

– інноваційність впроваджених технологічних та технічних рішень;

– здатність до удосконалення – підвищення ефективності та розширення виконуваних функцій;

– забезпечення можливості наочної демонстрації принципу дії обладнання при використанні у навчальному процесі.

Мета і завдання дослідження

Мета роботи полягала в створенні та експериментальному відпрацюванні автоматизованої універсальної системи екологічного діагностування теплових двигунів та котельних установок різного призначення за показниками, що характеризують матеріальні та фізичні забруднення НС. Для досягнення цієї мети вирішені наступні завдання:

1) створення експериментального зразку універсальної системи екологічного діагностування КУ і ТД;

2) систематизація методик визначення екологічних показників КУ і ТД, які характеризують хімічні та фізичні забруднення НС;

3) експериментальне відпрацювання універсальної системи екологічного діагностування КУ і ТД на натурних об'єктах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Найбільш чутливим і точним обладнанням для визначення концентрацій та викидів забруднюючих речовин (ЗР), що утворюються при згорянні вуглеводних палив, є розбавляючі тунелі, які використовуються при проведенні екологічної сертифікації автомобіль-

них та інших транспортних ДВЗ [1-4]. Це обумовлено тим, що серед різних типів ТД і КУ автомобільні двигуни характеризуються найнижчими допустимими рівнями концентрацій ЗР у ВГ, які за останні 15 років – при переході від норм EURO-3 до EURO-6 зменшились у 2,5...10 разів [5]. Також тунелі характеризуються високою швидкістю та здатні вимірювати масові та питомі ЗР у ВГ при випробуваннях ДВЗ за їздовими та транзйєнтними циклами [6]: New European Driving Cycle (NEDC), European Transient Cycle (ETC), Worldwide Transient Vehicle Cycle (WTVC) та ін.

Серед існуючих типів тунелів найбільш компактним і мобільним та найменш вартісним обладнанням є мікротунелі (МКТ), які характеризуються: діаметром та довжиною трубопроводу розбавлення ВГ – $D \times L = 2,5 \dots 4 \text{ см} \times 25 \dots 40 \text{ см}$; продуктивністю пробовідбірного насоса – 60...125 лн/хв.; коефіцієнтом розбавлення ВГ – 4...50 [4]. В МКТ для визначення концентрацій ЗР у ВГ (ДГ) використовується метод динамічного розбавлення газової проби повітрям до температури, яка не перевищує 52 °С – точку роси важких вуглеводнів, що містяться у продуктах згоряння палива [2]. Цей метод дозволяє імітувати природній процес потрапляння ЗР у атмосферу та має такі переваги перед методом прямого вимірювання концентрацій ЗР у ВГ (ДГ): зменшується хімічна активність і температура газової проби та покращуються умови експлуатації пробовідбірного обладнання, діапазони вимірювання концентрацій ЗР збільшуються пропорційно коефіцієнту розбавлення ВГ (ДГ) та розширюється галузь застосування газоаналізаторів [4].

Порівняно з процедурами визначення екологічних показників транспортних ДВЗ аналогічні процедури для КУ є менш складними та передбачають встановлення фактичних рівнів хімічних та фізичних забруднень на регламентованих режимах роботи цих об'єктів. При цьому допустимі значення цих показників також мають тенденцію до зниження [7].

Виклад основного матеріалу

Експериментальний зразок універсальної системи екологічного діагностування КУ і ТД створено на основі мікротунелю МКТ-2 – установки для динамічного розбавлення проби димових (відпрацьованих) газів повітрям, що дозволило забезпечити такі властивості цієї системи, як: багатофункціональність, компактність, мобільність, зручність у експлуатації, висока ступінь автоматизації, інформативність результатів, здатність до вирішення як науково-дослідних, так і навчальних завдань.

Основними елементами створеної вимірювальної системи є 3 модулі: вимірювальний, тестувально-демонстраційний та лабораторний.

До складу *вимірювального модулю* входять:

- система динамічного розбавлення проб – мікротунель МКТ-2 (рис. 1);



Рис. 1. Основні елементи мікротунелю МКТ-2:

1 – пробовідбірний пристрій; 2 – електронний модуль керування; 3 – камера для зважування фільтрів.

- прилади і обладнання для безпосереднього вимірювання екологічних показників, що характеризують хімічні та фізичні забруднення навколишнього середовища (рис. 2), зокрема: портативний газоаналізатор ОКСИ 5М, електроаспіратор АСА-2М, шумоміреєстратор DT-8852, тепловізор Testo 871, пневмометричні трубки конструкції НІЙОГАЗ різної довжини, мікроманометр ММН 2400 та ін.



Рис. 2. Прилади контролю забруднень

До складу *тестувально-демонстраційного модулю* входять:

- установка для досліджень аеродинамічних процесів, що протікають у вихлопних системах двигунів та димових трубах котельень, процесів відбору та підготовки до аналізу газових проб (рис. 3);

- лабораторна стійка-трансформер, на базі якої можуть збиратися різні вимірювальні та випробувальні стенди відповідно до завдань досліджень (рис. 4);

- мультимедійний комплекс, оснащений планшетним ПК з комплектом спеціалізованого програмного забезпечення і доступом до мережі Internet та інформаційною SMART-панеллю діаметром 43" для демонстрації роботи приладів, обладнання, програм, результатів досліджень, тощо.



Рис. 3. Установка для досліджень аеродинамічних процесів в трубах КУ і ТД



Рис.4. Лабораторна стійка-трансформер

До складу лабораторного модулю (рис. 5) входять лабораторні прилади, обладнання і витратні матеріали, які використовуються при проведенні аналізу проб, відібраних в ході екологічних досліджень натурних об'єктів, зокрема: спектрофотометри КФК-2, ULAB 102, електронні ваги Radwag AS 60/220 R2, ТВЕ-0,5-0,01, витяжна шафа ШВЛ-02, Шафа сушильна СП-30, хімічні реактиви, посуд.



Рис. 5. Загальний вигляд лабораторії екологічного моніторингу

При використанні універсальної системи екологічного діагностування ТД і КУ застосовуються **нормовані методи та методики контролю хімічних та фізичних забруднень навколишнього середовища**, а саме:

- методи відбору, транспортування та підготовки до аналізу газових проб; що відбираються з димових труб КУ;
- методика визначення швидкості та витрати газового потоку в димовій трубі КУ;
- методика визначення масових викидів забруднюючих речовин, що містяться у ВГ ДВЗ
- методика проведення лабораторного аналізу газових проб з використанням спектрофотометру;
- методика оцінки ступеня забруднення атмосфери димовими газами КУ;
- методика оцінки еколого-економічних збитків від забруднення атмосфери шкідливими викидами котельень;
- методика вимірювань транспортних та промислових шумів з використанням шумоміру.

Результати досліджень та їх аналіз

З метою експериментального відпрацювання створеної вимірювальної системи проведено комплекс експериментальних досліджень на натурних об'єктах.

Дослідження екологічних показників транспортних двигунів. Проведено комплексні дослідження з визначення концентрацій та масових викидів забруднюючих речовин з ВГ бензинового двигуна легкового автомобіля – ВА3-21081 при його роботі на режимі холостого ходу (рис. 6) та автотракторного дизеля 4ЧН12/14 на різних режимах його роботи (рис. 7).



Масова витрата ВГ, кг/год	Концентрація у ВГ		Масовий викид ЗР, кг/год	
	CO, %	NO _x , ppm	CO	NO _x
72,1	0,65	215	0,362	0,012

Рис. 7. Результати досліджень екологічних показників бензинового двигуна ВА3-21081

В ході випробувань досліджено рівні виробничого шуму в машинному залі під час роботи моторних стендів у відповідності до методики [8] (рис. 8).

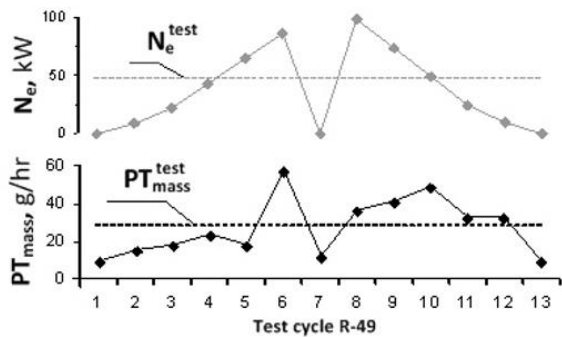


Рис. 7. Результати екологічних випробувань автотракторного дизеля 4ЧН12/14 за циклом R-49

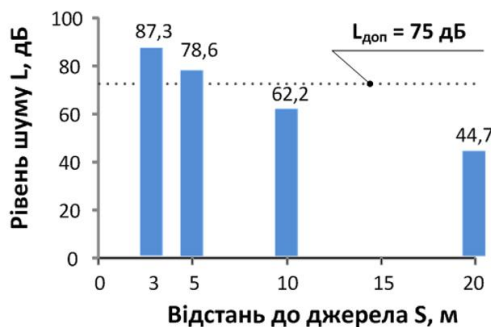
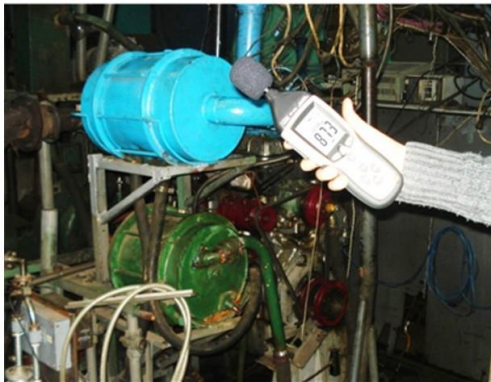


Рис. 8. Результати досліджень рівнів виробничого шуму в машинному залі

Дослідження екологічних показників котельні. На базі котла ДКВР-20/13 газової котельні, розташованої у пмт. Рогань, Харківського р-ну, Харківської обл. проведено: відпрацювання методики вимірювання швидкості та витрати потоку ДГ в газоході, визначення концентрацій газоподібних забруднюючих речовин у ДГ (рис. 9), відпрацювання процедури тепловізійного обстеження обладнання та теплозахисних конструкцій КУ з використанням тепловізора та програмного забезпечення для аналізу термограм (рис. 10).



Рис.9. Контроль швидкості потоку і токсичності ДГ

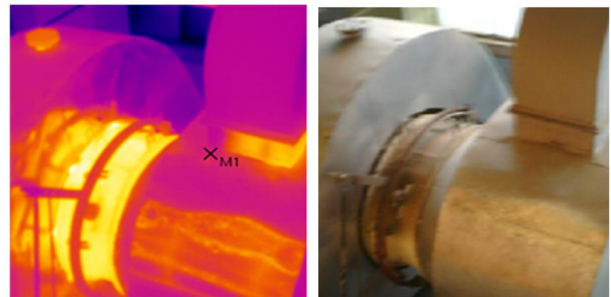


Рис. 10. Результати теплодіагностики елементів КУ

Відповідно до методики [9] на базі програмного комплексу «ЭОЛ 2000 [h]» з утилією «Показник ризику» проведено розрахунки забруднення атмосфери прилеглих територій двома КУ: 1) газової котельні Дублянської загальноосвітньої школи І-ІІІ ступенів з котлом АОГВ-100Е номінальною потужністю $N_{ном} = 100$ кВт (джерело викиду – труба висотою 10 м з круглим гирлом діаметром 0,3 м; заміри викидів димових газів виконані при навантаженні $0,54 \cdot N_{ном}$); 2) котельні

Мурафської загальноосвітньої школи I-III ступенів, з котлом КЧМ-2М-4 номінальною потужністю $N_{\text{ном}} = 50$ кВт, що працює на дерев'яних пелетах (джерело викиду – труба висотою 8 м з круглим гирлом діаметром 0,3 м; заміри викидів димових газів виконані при навантаженні $0,4 \cdot N_{\text{ном}}$) (табл. 1).

Таблиця 1

Результати досліджень забруднення атмосфери КУ

Об'єкт	Максимальна приземна концентрація C_m , ГДК		Відстань S_m від джерела викиду X_m , м	Небезпечна швидкість витру U_m , м/с	Радіус зони впливу джерела, м
	NO_2	CO			
1 – котел АОВ-100Э Дублянська ЗОШ	NO_2	0,0417	26,14	0,50	115
	NO	0,0052			
	CO	0,1424			
2 – котел КЧМ-2М-4 Мурафська ЗОШ	NO_2	0,1072	23,11	0,56	80
	NO	0,0085			68
	CO	0,0908			

Експериментальне відпрацювання підтвердило практичну придатність створеної вимірювальної системи для проведення ефективного контролю хімічних і фізичних забруднень навколишнього середовища ТД і КУ та продемонструвало її універсальність, мобільність і зручність у експлуатації.

Висновки

1. Створено експериментальний зразок універсальної системи екологічного діагностування теплових двигунів і котелень, відмінними властивостями якої є: багатофункціональність, компактність, мобільність, зручність у експлуатації, висока ступінь автоматизації, інформативність результатів, здатність до вирішення як науково-дослідних, так і навчальних завдань. Система складається з 3-х модулів: *вимірювального*, який містить: мікротунель МКТ-2, прилади і обладнання для безпосереднього вимірювання показників хімічного та фізичного забруднення навколишнього середовища; *тестувально-демонстраційного*, який складається з: установки для досліджень аеродинамічних процесів у вихлопних системах двигунів та димових трубах котелень, лабораторної стійки-трансформеру, на базі якої можуть збиратися різні вимірювальні та випробувальні стенди, мультимедійного комплексу, оснащеного планшетним ПК з пакетом спеціалізованого програмного забезпечення та інформаційною SMART-панеллю для демонстрації роботи приладів, обладнання, програм, тощо; *лабораторного*, який містить лабораторні прилади, обладнання і витратні матеріали для аналізу проб, відібраних в ході екологічних досліджень натурних об'єктів.

2. Визначено та систематизовано нормовані методи та методики, які дозволяють визначати показники, що характеризують хімічні та фізичні забруднення навколишнього середовища тепловими двигунами та котельнями, а саме: методи відбору, транспортування та підготовки до аналізу газових проб, методики: визначення швидкості та витрати потоку в газоході, оцінки ступеня забруднення атмосфери шкідливими викидами котелень та ін.

3. Проведено експериментальне відпрацювання універсальної системи екологічного діагностування котельних установок і теплових двигунів на натурних об'єктах: базі котельнях з газовими – ДКВР-20/13, АОГВ-100Є і твердопаливним – КЧМ-2М-4 котлами, яке підтвердило практичну придатність створеної вимірювальної системи для ефективного контролю хімічних і фізичних забруднень довкілля та продемонструвало її універсальність, мобільність і зручність у експлуатації.

Література

1. Foote, E., Maricq, M., Sherman, M., Carpenter, D. (2013). Evaluation of Partial Flow Dilution Methodology for Light Duty Particulate Mass Measurement. *SAE Technical Paper, 2013-01-1567*, 10. [in English].
2. Редзюк, А.М. Щодо визначення масових викидів забруднюючих речовин двигунами колісних транспортних засобів [Текст] / А.М. Редзюк, О.А. Клименко, О.В. Кудренко // Автошляховик України, 2012. – № 4 (228) – С. 2–7.
3. Клименко, О.А. Дослідження та створення перспективної системи для визначення масових викидів забруднюючих речовин у відпрацьованих газах двигунів [Текст] / О.А. Клименко, А.М. Редзюк, О.В. Кудренко, С.О. Ричок // Автошляховик України, 2012. – № 5 (229) – С. 2–8.
4. Lianga, Z., Tiana, J., Zeraati 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, UK*, 31. [in English].
5. Littera, D., Cozzolini, A., Besch, M., Velardi, M. (2013). Comparison of Particulate Matter Emissions from Different Aftertreatment Technologies in a Wind Tunnel. *SAE Technical Paper, 2013-24-0175*, 17. [in English].
6. Bielaczyc, P., Woodburn, J. (2016). Exhaust Emissions of Gaseous and Solid Pollutants Measured over the NEDC, FTP-75 and WLTC Chassis Dynamometer Driving Cycles. *SAE Technical Paper, 2016-01-1008*, 13. [in English].
7. Варламов, Г.Б. Загальні підходи до створення методологічних основ енерго-екологічного аналізу експлуатації об'єктів ПЕК [Текст] / Г.Б. Варламов, К.О. Приймак, Х. Шварцзова // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, 2013. - № 10 (116). – С. 2-9.
8. ДСН 3.3.6.037-99. [Текст] Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – К., 1999. – 34 с.
9. ОНД 86. [Текст] Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. С.-Пб., Гидрометеоиздат, 1987. – 93 с.

References

1. Foote, E., Maricq, M., Sherman, M., Carpenter, D. (2013). Evaluation of Partial Flow Dilution Methodology for Light Duty

Particulate Mass Measurement. *SAE Technical Paper, 2013-01-1567*, 10. [in English].

2. Redzuk, A., Klimenko, O., Kudrenko, O. (2012). Concerning the determination of mass emissions of pollutants by the engines of wheeled vehicles. [Shhodo vy`znachennya masovy`x vy`ky`div zabrudnyuyuchy`x rechovy`n dvy`gunamy` kolisny`x transportny`x zasobiv]. *Avtoshlyahovyk Ukraine, 4(228)*, 2-7. [in Ukrainian].

3. Klimenko, O., Redzuk, A., Kudrenko, O., Rychok, S. (2012). Research and creation of a perspective system for the determination of mass emissions of pollutants in exhaust gases of engines. [Doslidzhennya ta stvorennya perspekty`vnoyi sy`stemy` dlya vy`znachennya masovy`x vy`ky`div zabrudnyuyuchy`x rechovy`n u vidprac`ovany`x gazax dvy`guniv]. *Avtoshlyahovyk Ukraine, 5(229)*, 2-8. [in Ukrainian].

4. Lianga, Z., Tiana, J., Zeraati 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, UK*, 31. [in English].

5. Littera, D., Cozzolini, A., Besch, M., Velardi, M. (2013). Comparison of Particulate Matter Emissions from Different Aftertreatment Technologies in a Wind Tunnel. *SAE Technical Paper, 2013-24-0175*, 17. [in English].

6. Bielaczyc, P., Woodburn, J. (2016). Exhaust Emissions of Gaseous and Solid Pollutants Measured over the NEDC, FTP-75 and WLTC Chassis Dynamometer Driving Cycles. *SAE Technical Paper, 2016-01-1008*, 13. [in English].

7. Varlamov, G., Prymak, K., Shvarzova, H. (2013). General approaches to the creation of meteorological bases of energy-ecological analysis of the operation of fuel and energy complex facilities. [Zagal`ni pidhody` do stvorennya me-todologichny`x osnov energo-ekologichnogo analizu ekspluatatsiyi ob`yektiv PEK]. *Energy saving. Power engineering. Energy audit, 10(116)*, 2-9. [in Ukrainian].

8. SSN 3.3.6.037-99. (1999). Sanitary norms of production noise, ultrasound and infrasound. [Sanitarni normy` vy`robny`chogo shumy, ul`trazvuku ta infrazvuku]. standards publisher, 34. [in Ukrainian].

9. ISD 86. (1987). Method of calculating concentrations in the air of harmful substances contained in emissions of enterprises

[Metodika rascheta kontsentratsiy v atmosfernom vozduhe vrednykh veschestv, soderzhaschihsya v vyibrosah predpriyati]. Hydrometeoizdat, 93. [in Russian].

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Парсаданов, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

Автор: ПОЛИВ'ЯНЧУК Андрій Павлович
д.т.н., проф.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail - arpmail@meta.ua

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9966-1938>

Автор: СМІРНИЙ Михайло Федорович
д.т.н., проф.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail - mfsmirny@gmail.com

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7083-5447>

Автор: КАСЛІН Олександр Ігорович
аспірант

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail - vinchester280@gmail.com

Автор: СКУРІДІНА Олена Олександрівна
аспірант

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail - ecology@kname.edu.ua

Автор: КОВАЛЕНКО Юрій Леонідович
старший науковий співробітник

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail - kovalenko55@gmail.com

Автор: БЕКЕТОВ Володимир Єгорович
доцент

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail - wlbek17@gmail.com

CREATION AND EXPERIMENTAL TESTING UNIVERSAL SYSTEM OF ENVIRONMENTAL DIAGNOSTICS HEAT ENGINES AND BOILER INSTALLATIONS

A. Polivyanchuk, M. Smirny, O. Kaslin, O. Skuridina, Y. Kovalenko, V. Beketov

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

A description is given of an experimental sample of a universal system for the environmental diagnosis of heat engines and boiler installations, which was developed at the Department of Environmental Engineering of the O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. The properties of this system are: multi-functionality, compactness, mobility, ease of operation, a high degree of automation, informative results, ability to solve both research and training tasks. The structure, composition and functionality of the main modules of this system are considered: 1) measuring, which contains microtunnels MKT-2, instruments and equipment for direct determination of indicators of chemical and physical pollution of the environment; 2) testing and demonstration, which consists of: installations for research of aerodynamic processes in exhaust systems of engines and boiler chimneys, laboratory transformer rack for mounting various test benches, a multimedia complex equipped with a tablet PC and an SMART information panel with a diameter of 43 " to demonstrate the operation of devices, equipment, programs, research results, etc.; 3) laboratory, which contains laboratory devices, equipment and consumables for the analysis of samples taken during environmental studies of natural objects. Normalized methods and techniques that allow to determine indicators characterizing chemical and physical pollution of the environment by heat engines and boiler installations are defined and systematized. Experimental testing of the created measuring system on full-scale objects: a gasoline engine of a passenger car - VAZ-21081 and automotive diesel engines - 4ЧН12 / 14, boilers with gas - DKVR-20/13 AOGV-100E and solid-fuel - КЧМ-2М-4 boilers. Tests confirmed the practical suitability of the measuring system.

Keywords: heat engines, boiler installations, pollutants, environmental diagnostics, universal system, microtunnel, experimental testing.