

А.П. Полив'ячук, І.В. Грицук, Д.С. Погорлецький, Н.М. Полив'ячук, О.С. Єфімов

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОГРАМОВАНОГО ІЗОКІНЕТИЧНОГО ПРОБОВІДБІРНИКА ДЛЯ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ І КОТЕЛЕНЬ

Роботу присвячено вирішенню актуальної науково-практичної задачі створення універсального пробовідбір-ного пристрою для систем екологічного діагностування теплових двигунів і котельних установок різного призначення. Забезпечення ізокінетичного режиму відбору проби з вихлопної труби (ВТ) двигуна є більш складним завданням ніж проведення аналогічного пробовідбірного процесу в димовій трубі котельні, оскільки, відпрацьовані гази двигунів характеризуються коливаннями статичних тисків у ВТ з амплітудою до ± 500 Па., що потрібно враховувати в роботі пробовідбірного обладнання. В ході досліджень на основі аналізу світового та вітчизняного досвіду виробництва і використання обладнання для екологічної сертифікації ДВЗ і котельні створено програмований ізокінетичний пробовідбірник (ІКП), який дозволяє відбирати пропорційну частину газової проби з повного потоку відпрацьованих газів у ВТ енергетичної установки з точністю $\pm 3\%$. Розроблено безмоторний і моторний випробувальні стенди для моделювання та досліджень газодинамічних процесів у випускних системах двигунів і котельних установок, які забезпечують можливість варіювання параметрів газових потоків - масової витрати, швидкості, температури, статичного тиску, швидкісного напору в діапазонах: 15 - 55 г/с; 5...30 м/с, 20...180 °С, 0...2,5 кПа, 10 - 550 Па, відповідно. На базі створених випробувальних стендів встановлено емпіричні залежності для визначення перепадів статичних тисків між трубопроводами ІКП і ВТ, при яких забезпечується ізокінетичний режим відбору проби, від динамічного напору газового потоку у ВТ. За допомогою даних залежностей здійснюється SMART-управління програмованим ІКП. Проведено експериментальне відпрацювання програмованого ІКП у складі мінітунелю МТ-1 в ході екологічних випробувань дизеля ІЧН12/14 на окремих режимах та за циклом ESC, встановленого Правилами ЄЕК ООН R-49. Результати досліджень підтвердили відповідність створеного пробовідбірного пристрою нормативним вимогам до його конструкції та точності визначення коефіцієнту відбору проби.

Ключові слова: теплові двигуни; котельні установки; екологічна діагностика; ізокінетичний пробовідбірник; мікротунель.

Вступ

Важливим етапом процесу екологічної діагностики теплових двигунів і котельних установок є відбір та транспортування газової проби з випускної системи енергетичної установки до засобів газоаналітичного контролю. Пристрої, які використовуються на цьому етапі, відносяться до одних з найбільш технологічних та вартісних вузлів діагностичного обладнання. Серед різних регламентованих екологічними стандартами пристроїв відбору газових проб виділяють пробовідбірну систему з ізокінетичним пробовідбірником (ІКП), яка має суттєві переваги над системами інших типів [1-4]. До таких переваг відносяться: мінімізація впливу процесу відбору проби на її газодинамічні параметри та внутрішню структуру, забезпечення пропорційності частки відібраної проби відношенню діаметрів трубопроводів ІКП і вихлопної труби (ВТ), газодинамічна подібність потоків відпрацьованих газів (ВГ) двигунів і котельні, що протікають в пробовідбірній системі та ВТ.

Забезпечення ізокінетичного режиму відбору газової проби з вихлопної труби (ВТ) теплового двигуна є більш складним завданням ніж проведення аналогічного пробовідборного процесу в димовій трубі котельної установки, оскільки, на відміну від стаціонарних потоків димових газів

котельні, які підпорядковуються закону Бернуллі і достатньо ефективно контролюються, відпрацьовані гази двигунів супроводжуються коливаннями статичних тисків у ВТ, що потрібно враховувати в роботі пробовідбірного обладнання.

Науково-практичною базою для створення сучасних пробовідбірних систем з використанням ІКП є результати теоретичних і прикладних досліджень та розробок закордонних і вітчизняних організацій-виробників обладнання для екологічної сертифікації ДВЗ, таких як AVL List GmbH, Mitsubishi Motors, Perkins Engines Co. Ltd., Pierburg AG, ДП «ДержавтотрансНДІпроект», КЗ «Аналітприлад» та ін. [2-6]. На основі аналізу досвіду цих організацій та власних напрацювань авторами даної роботи створено програмований ІКП для систем екологічної діагностики теплових двигунів і котельні та проведено комплекс досліджень із забезпечення його ефективності у відповідності до вимог нормативних документів.

Мета і завдання дослідження

Мета досліджень полягала у створенні універсального пробовідбірного пристрою з програмованим ІКП для використання в системах екологічної діагностики теплових двигунів і котельні та забезпечення його ефективності відповідно до встановлених вимог. Для досягнення цієї мети виріше-

но наступні завдання: 1) створення програмованого ІКП; 2) монтаж випробувальних стендів для проведення безмоторних та моторних випробувань ІКП; 3) проведення досліджень із забезпечення ефективності створеного пробовідбірного пристрою.

Аналіз літературних джерел за темою досліджень

Серед відомих пробовідбірних систем з використанням ІКТ можна виділити вимірювальні комплекси для екологічної сертифікації дизелів - частковопотоківі системи розбавлення ВГ повітрям, які називають мінітунелями. Нижче розглянуті принципи дії найбільш експериментально досліджених мінітунелей, використання яких регламентовано Правилами ЄЕК ООН R-49 [7-9].

Мінітунель з ІКП та вимірювачем концентрації CO₂ або NO_x (Mitsubishi Motors) працює наступним чином (рис. 1).

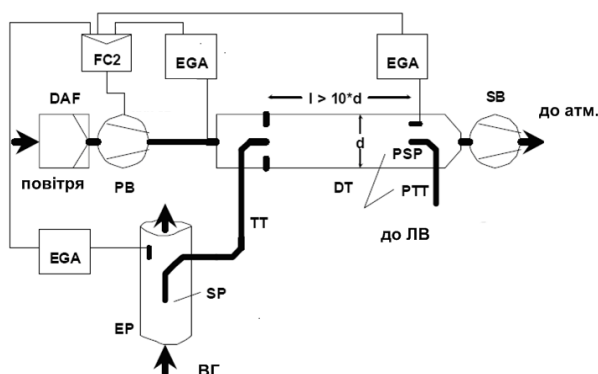


Рис. 1. Принципова схема мінітунелю з ІКП та вимірювачем концентрації CO₂ або NO_x

Пропорційна частка проби ВГ направляються з вихлопної труби EP в змішувальний канал DT через пробовідбірник SP і відповідний патрубок TT. Концентрації індикаторного газу (CO₂ або NO_x) вимірюють у первинних і розбавлених ВГ, а також у повітрі за допомогою газоаналізатора EGA. Ці дані передаються на регулятор витрати FC2, який керує роботою нагнітаючого - PB або витяжного - SB насоса і забезпечує належне змішування проби ВГ з повітрям і відповідного коефіцієнту розбавлення її у тунелі DT. Коефіцієнт розбавлення розраховується за концентраціями індикаторних газів у первинних і розбавлених ВГ та у повітрі.

Мінітунель з ІКП керованого нагнітаючим компресором (AVL List GmbH) працює наступним чином. (рис. 2).

Пропорційна частка проби ВГ направляються з вихлопної труби EP до тунелю DT по трубопроводу транспортування TT через ІКП - ISP. Різниця тисків ВГ у ВТ і на вході в ІКП вимірюється за допомогою

диференційного датчика тиску DPT. Сигнал від датчика передається на регулятор витрати FC1, який управляє роботою нагнітаючого насоса PB, який забезпечує потрібний рівень перепаду тиску на вході у ІКП. Це досягається відбором невеликої частини потоку повітря, витрату якого вже було визначено витратоміром FM1, і спрямуванням його у TT через сопло.

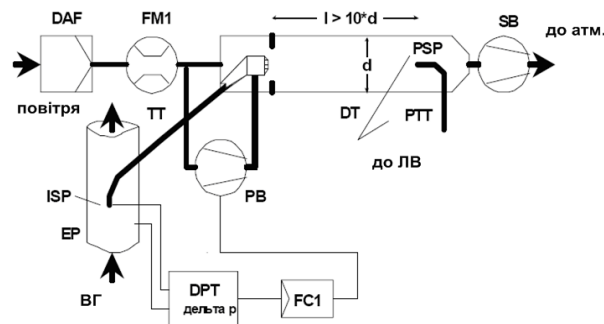


Рис. 2. Принципова схема мінітунелю з ІКП керованого нагнітаючим компресором

Коефіцієнт відбору ВГ визначається по відношенню поперечних перетинів EP і ISP. Коефіцієнт розбавлення розраховують на основі масової витрати повітря та коефіцієнта відбору ВГ.

Мінітунель багатотрубного типу (Mitsubishi Motors) працює наступним чином (рис. 3).

Проба ВГ направляються з вихлопної труби EP в змішувальний канал DT по відводному патрубку TT через розподільвач потоку FD3, який складається з кількох трубок однакового розміру, встановлених в EP. Через одну з цих трубок ВГ направляються в DT, а через інші надходять у демпферну камеру DC. Таким чином, значення коефіцієнта відбору потоку ВГ залежить від загального числа трубок.

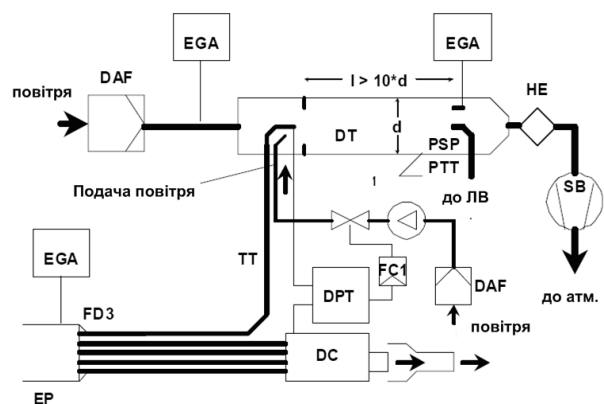


Рис. 3. Принципова схема мінітунелю багатотрубного типу

Підтримання коефіцієнта відбору на потрібному рівні забезпечується встановленням різниці між тисками в *DC* і на виході з *TT* на нульовому рівні, що контролюється диференціальним датчиком тиску *DPT*. Нульова різниця тиску забезпечується подачею свіжого повітря в *DT* на виході з *TT*. Концентрації індикаторних газів (CO_2 або NO_x) вимірюють у первинних ВГ, розбавлених ВГ і у повітрі за допомогою газоаналізатора *EGA*. Коефіцієнт розбавлення розраховується на основі концентрацій індикаторних газів.

Викладання основного матеріалу

Створення програмованого *ІКП* здійснено відповідно до нормативних вимог [1]. *ІКП* являє собою автоматизований пристрій у складі вимірювального комплексу з мінітунелем *MT-1* [10], який призначений для відбору пропорційної частки ВГ з випускної системи двигуна або котельні та подальшого транспортування її по трубопроводу перенесення проби (ТП) до системи розбавлення ВГ повітрям у мінітунелі. (рис. 4). Забезпечення ізокінетичного режиму відбору проби досягається шляхом підтримки перепаду статичних тисків між трубопроводами ВТ та *ІКП* – ΔP_{IK} на заданому рівні, який встановлюється автоматизованим регулятором потоку проби дросельного типу *AP*.

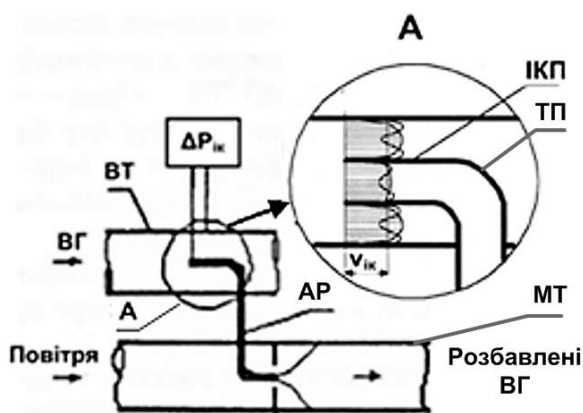


Рис. 4. Принципова схема пробовідбірної пристрою з програмованим *ІКП*:

ВГ – відпрацьовані газы; *ВТ* – вихлопна труба; *ІКП* – ізокінетичний пробовідбірник; *ТП* – трубопровід перенесення проби; *АР* – автоматизований регулятор потоку проби; *МТ* – мінітунель; ΔP_{IK} – перепад статичних тисків між *ВТ* та *ІКП*; v_c – середня швидкість потоку *ВГ*

SMART-управління регулятором *АР* здійснюється за допомогою мікропроцесорного блоку, в якому обробляється інформація, що надходить з датчиків контролю параметрів газового потоку у *ВТ* – масової витрати – G_{BT} , температури – t_{BT} , ста-

тичного тиску – P_{BT} , а також диференційного датчику тиску, що контролює величину ΔP_{IK} . При цьому потрібне значення параметра ΔP_{IK} , яке забезпечується регулятором *АР*, визначається за допомогою емпіричної залежності:

$$\Delta P_{IK} = f(q_{BT}), \quad (1)$$

де q_{BT} – швидкісний напір газового потоку у *ВТ* у *Па*, який розраховується за значеннями параметрів G_{BT} , t_{BT} , P_{BT} .

Вибір залежності (1) для управління процесом пробовідбору обумовлений тим, що ця залежність є слідством рівняння Бернуллі для стаціонарних газових потоків:

$$\Delta P_{IK} = P_{BT} - P_{IKP} = (\alpha_2 - \alpha_1) \cdot q_{BT}, \quad (2)$$

де P_{BT} і P_{IKP} – статичні тиски газових потоків у *ВТ* і *ІКП*, *Па*;

α_{BT} і α_{IKP} – безрозмірні коефіцієнти, що враховують нерівномірності розподілу швидкостей газових потоків у поперечних перетинах *ВТ* і *ІКП*, які залежать від геометричних і газодинамічних властивостей пробовідбірної системи та відрізняються один від одного.

Випробувальні стенди для досліджень ефективності програмованого *ІКП*

В якості експериментальної бази для встановлення емпіричної залежності (1) використовувався безмоторний випробувальний стенд для досліджень газодинамічних процесів у випускних системах двигунів і котельні (рис. 5, 6).

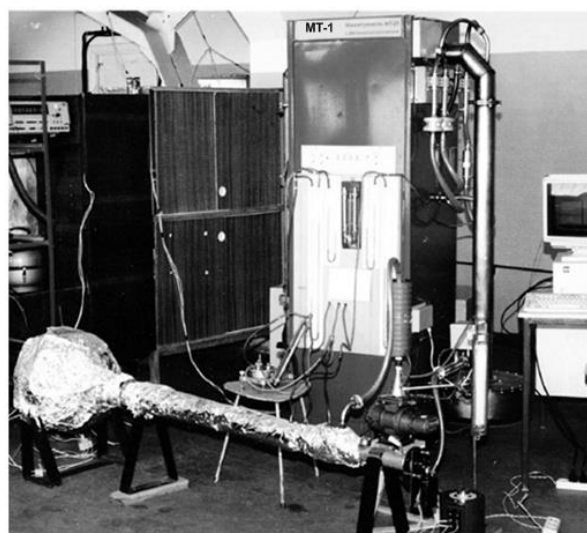


Рис. 5. Загальний вигляд експериментальної установки для досліджень газодинамічних процесів

Ця установка дозволяє моделювати процеси відбору газових проб з *ВТ* з використанням в якості робочого тіла нагрітого повітря, газодинамічні па-

параметри якого можуть варіюватися в таких діапазонах: масова витрата – 15...55 г/с, швидкість – 5...30 м/с, температура – 20...180 °С, статичний тиск – 0...2,5 кПа, швидкісний напір – 10...550 Па.

В якості експериментальної бази для дослідження ефективності програмованого ІКП в складі виміральної системи – мінітунелю МТ-1 в ході моторних випробувань використовувався гальмівний стенд дизеля 1Ч12/14. (рис. 7). Цей стенд дозволяє реалізувати нормовані процедури екологічних випробувань ДВЗ та досліджувати газодинамічні параметри ВГ на сталих режимах роботи двигуна.

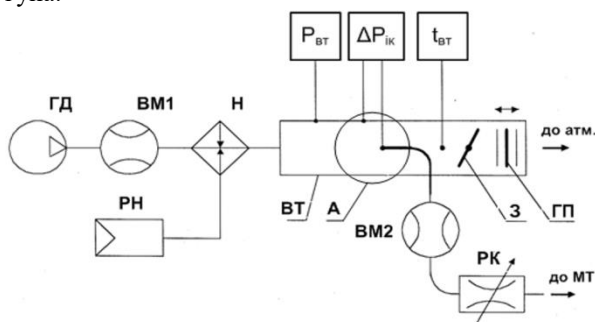


Рис. 6. Принципова схема експериментальної установки для досліджень газодинамічних процесів: ГД - газодувка; ВМ1, ВМ2 - витратоміри; Н - нагрівач; РН - регулятор напруги; ВТ - вихлопна труба; РК - регулюючий клапан; З - заслінка; ГП - генератор пульсацій тиску у ВТ; $P_{ВТ}$, $t_{ВТ}$ і $f_{ВТ}$ - датчики контролю статичного тиску, температури і частоти коливань тиску у ВТ, відповідно; $\Delta P_{ІК}$ - датчик контролю перепаду статичних тисків між ІКП і ВТ

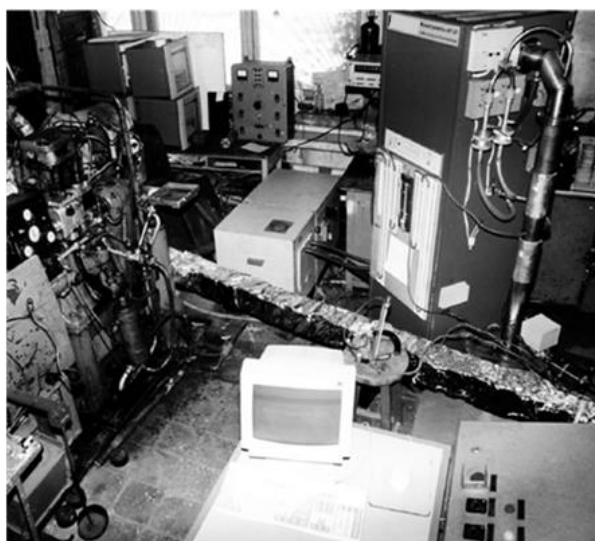


Рис. 7. Загальний вигляд гальмівного стенду дизеля 1Ч12/14 з мінітунелем МТ-1

Результати досліджень та їх аналіз

Визначення залежності величини $\Delta P_{ІК}$ від параметрів газового потоку у ВТ.

Дослідження по встановленню емпіричної залежності (1) проводились на безмоторному стенді і складались з 3-х серій дослідів, в ході яких визначалась величина $\Delta P_{ІК}$ при фіксованих значеннях параметрів газового потоку у ВТ – $G_{ВТ}$, $t_{ВТ}$, $P_{ВТ}$ і $q_{ВТ}$ які варіювались у діапазонах: 20,...54,2 г/с, 20...155 °С та 0,4...2,2 кПа та 40...300 Па, відповідно.

За результатами цих досліджень встановлено експериментальну залежність потрібного для забезпечення ізокінетичного режиму відбору проби значення величини $\Delta P_{ІК}$ від швидкісного напору потоку у ВТ (рис. 8):

$$\Delta P_{ІК} = 0,161 \cdot \frac{\rho v^2}{2} - 4,7, \text{ Па.} \quad (3)$$

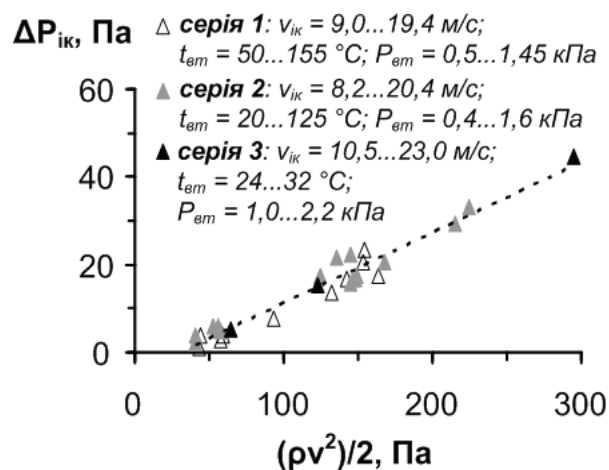


Рис. 8. Регресійна залежність $\Delta P_{ІК} = f(q_{ВТ})$ для визначення потрібних значень $\Delta P_{ІК}$ у ІКП

Аналіз залежності (3) показує:

- при варіюванні параметрів газового потоку у вказаних діапазонах величина $\Delta P_{ІК}$ лінійно залежить від швидкісного напору потоку газу у ВТ;
- різниця коефіцієнтів $\alpha_{ВТ}$ і $\alpha_{ІКП}$ у формулі (2) має позитивне значення; це свідчить про те, що $\alpha_1 > \alpha_2$ і у перетині ІКП нерівномірність розподілу швидкостей більш суттєва, ніж у перетині ВТ;
- СКВ розрахункових значень $\Delta P_{ІК}$ від експериментальних даних складає $\pm 2,2$ Па, що має один порядок з похибкою дослідів – ± 2 Па і свідчить про адекватність та високу точність регресійної залежності (3);
- практичне використання даної залежності в управлінні ІКП можливо при швидкостях газового потоку у ВТ більших, ніж 8 м/с, швидкісний напір при цьому перевищує 40 Па.

Оцінка похибок коефіцієнту відбору проби r_{exh} викликаних відхиленнями параметру ΔP_{ik} від потрібних значень

Коефіцієнт відбору проби r_{exh} , який визначає частку відібраної проби з ВТ, при ізокінетичному режимі дорівнює відношенню площин внутрішніх перетинів трубопроводів ІКП та ВТ. Відхилення фактичного перепаду статичних тисків між цими трубопроводами від $\Delta P_{ik} - \Delta P_r$, приводить до виникнення похибки визначення коефіцієнту $r_{exh} - \delta r_{exh}$, яка не повинна перевищувати допустимого значення $-\delta r_{exh(доп)} = 3\%$.

В результаті проведення на безмоторному випробувальному стенді 3-х серій дослідів з варіюванням швидкості і швидкісного напору потоку у ВТ та відхилень ΔP_r у діапазонах 10,5...22,5 м/с, 64...295 Па та - 20...20 Па, відповідно, було визначено експериментальні залежності $\delta r_{exh} = f(\Delta P_r)$ та $\Delta P_r = f(\delta r_{exh})$ для стаціонарного газового потоку (рис. 9):

$$\delta r_{exh} = -0,473 \cdot \frac{\Delta P_r}{q_{BT}}, \quad (4)$$

$$\Delta P_r = -2,11 \cdot q_{BT} \cdot \delta r_{exh}. \quad (5)$$

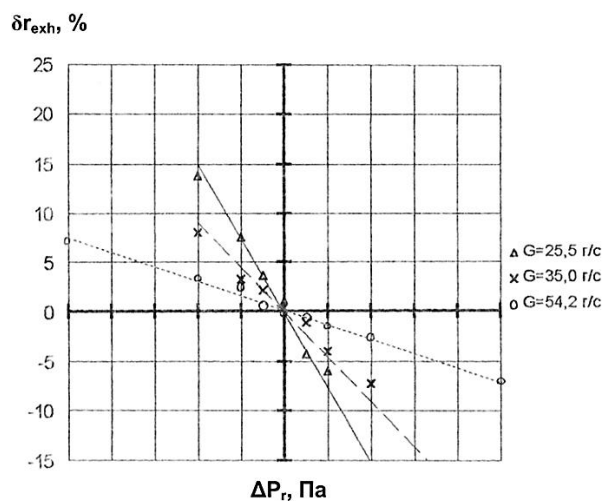


Рис. 9. Результати досліджень впливу відхилень ΔP_r на похибку коефіцієнту відбору проби r_{exh}

Аналіз отриманих залежностей показує:

- величина δr_{exh} пропорційна відхиленню ΔP_r з коефіцієнтом пропорційності - 0,473;
- при постійному δr_{exh} зі зростанням швидкісного напору у ВТ відповідне значення ΔP_r пропорційно збільшується.

Встановлення допустимих відхилень параметру ΔP_{ik} від потрібних значень – $\Delta P_{r(доп)}$

В результаті підстановки $\delta r_{exh(доп)}$ у формулу (5) отримано залежність для визначення відхи-

лень $\Delta P_{r(доп)}$, при яких забезпечується потрібна точність визначення коефіцієнту відбору r_{exh} у вигляді пропорційної функції:

$$\Delta P_{r(доп)} = -2,11 \cdot q_{BT} \cdot (\pm 0,03) = \pm 0,063 \cdot q_{BT}. \quad (6)$$

За допомогою цієї залежності встановлено значення $\Delta P_{r(доп)}$ для стаціонарних газових потоків, які імітують потоки ВГ на експлуатаційних режимах роботи дизеля 1Ч12/14. Ці значення варіюються в діапазоні від 2 Па (на режимі холостого ходу при $q_{BT} = 30$ Па) до 6 Па (на режимі номінальної потужності при $q_{BT} = 150$ Па). Збільшення коефіцієнту r_{exh} у n разів, наприклад, за рахунок зменшення діаметру ВТ, дозволяє підвищити $\Delta P_{r(доп)}$ у n^2 разів.

Відпрацювання програмованого ІКП на гальмівному стенді дизеля 1Ч12/14 з мінітунелем МТ-1 дозволило встановити експериментальну залежність для визначення потрібного значення фактичного перепаду тисків між ІКП та ВТ в ході випробувань ДВЗ – ΔP_{ik}^{real} . Ця залежність враховує реальні умови роботи дизеля (рис. 10):

$$\Delta P_{ik}^{real} = \Delta P_{ik} + \Delta_{ik}(n_n, L_n), \quad (7)$$

$$\Delta_{ik}(n_n, L_n) = 3,0 + 0,5 \cdot n_n - 2,3 \cdot n_n \cdot L_n, \quad (8)$$

де Δ_{ik} – поправка, яка враховує режим роботи двигуна;

n_n і L_n – нормовані значення числа обертів колінчастого валу та навантаження для дизеля 1Ч12/14.

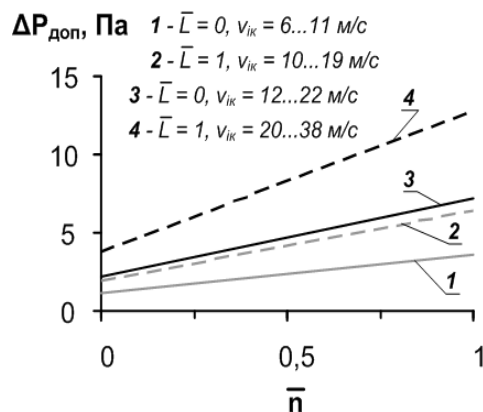


Рис. 10. Залежності допустимих відхилень $\Delta P_{доп}$ від потрібних значень ΔP_{ik}^{real} :

- 1, 2 – при $q_{BT} = 35-240$ Па;
- 3, 4 – при збільшенні q_{BT} у 4 рази

Для практичного використання формули (8) додатково були визначені допустимі відхилення – $\Delta P_{доп}$ від потрібних значень ΔP_{ik}^{real} . На рис. 10 показані залежності $\Delta P_{доп}$ від параметрів, n_n , L_n при $r_{exh} = 5,5\%$.

Представлені результати досліджень дозволили забезпечити потрібну точність програмованого

ІКП при проведенні відпрацювання його роботи у складі МТ-1 в ході випробувань дизеля 1Ч12/14 за нормованим циклом ESC, встановленого Правилами ЄЕК ООН R-49 [10, 11].

Висновки

Створено програмований ізокінетичний пробовідбірник (ІКТ), який може використовуватись в системах екологічної діагностики теплових двигунів і котелень і який дозволяє відбирати пропорційну частину газової проби з вихлопної труби (ВТ) енергетичної установки з точністю $\pm 3\%$.

Розроблено безмоторний і моторний випробувальні стенди для моделювання та досліджень газодинамічних процесів у випускних системах двигунів і котельних установок, які забезпечують можливість варіювання параметрів газових потоків - масової витрати, швидкості, температури, статичного тиску, швидкісного напору в діапазонах: 15 - 55 г/с; 5...30 м/с, 20...180 °С, 0...2,5 кПа, 10 - 550 Па, відповідно.

На базі створених випробувальних стендів встановлено емпіричні залежності для визначення перепадів статичних тисків між трубопроводами ІКП і ВТ, при яких забезпечується ізокінетичний режим відбору проб, від динамічного напору газового потоку у ВТ. За допомогою даних залежності здійснюється SMART-управління програмованим ІКП.

Проведено експериментальне відпрацювання програмованого ІКП у складі мінітунеля МТ-1 в ході екологічних випробувань дизеля 1Ч12/14 на окремих режимах та за циклом ESC, встановленого Правилами ЄЕК ООН R-49. Результати досліджень підтвердили відповідність створеного пробовідбірного пристрою нормативним вимогам до його конструкції та точності визначення коефіцієнту відбору проби.

Список літератури:

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. Zhang et al. // School of Mechanical Engineering, University of Birmingham, UK, 2015. – 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, 2013. – 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. Improving the accuracy of the gravimetric method for control particulate matter in diesel exhaust / A.P. Polivyanchuk, I.V. Gritsuk, E.A. Skuridina // New stages of development of modern science in Ukraine and EU countries: monograph / Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 2019. – 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. Полів'ячук А.П. Підвищення ефективності систем контролю викидів твердих частинок з відпрацьованими газами дизелів: монографія / А.П. Полів'ячук. – Х.: ХНАДУ, 2015. – 224 с. 11. Polivyanchuk A.P. Features of Environmental Diagnostics of Heat Motors and Boiler Plants by Information Methods / A. Polivyanchuk, M. Ahieiev, 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.

Bibliography (transliterated):

1. Regulation № 49-06. (2013). 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, 541 p. 2. Lianga, Z., Tiana, J., Rezaeia, S., Zhang, 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]. 3. Foote, E., Maricq, M., Sherman, M., Carpenter, D. et al. (2013). Evaluation of Partial Flow Dilution Methodology for Light Duty Particulate Mass Measurement. SAE Technical Paper № 2013-01-1567, 10 p. [in English]. 4. Klymenko, O.A., Redzyuk, A.M., Kudrenko, O.V., River .S.O. (2012). Research and creation of a promising system for determining mass emissions of pollutants in engine exhaust gases [Doslidzhennia ta stvorennia perspektyvnoi systemy dlia vyznachennia masovykh vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn u vidpratsovanykh hazakh dyvuhniv]. Autoroadster of Ukraine, 5 (229), pp. 2-8. [in Ukrainian]. 5. Polivyanchuk, A., Gritsuk, I., Skuridina, E. (2019). Improving the accuracy of the gravimetric method for control particulate matter in diesel exhaust. New stages of development of modern science in Ukraine and EU countries: monograph. "Baltija Publishing", pp. 223-244. [in English]. 6. Redzyuk, A.M., Klymenko, O.A., Kudrenko, O.V. (2012). Regarding the determination of mass emissions of pollutants by engines of wheeled vehicles. [Shchodo vyznachennia masovykh vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn dvyhunamy kolisnykh transportnykh zasobiv]. Autoroadster of Ukraine, 4 (228), pp. 2-7. [in Ukrainian]. 7. Alozie, N. Peirce, D., Lindner, A., Winklmayr, W. et al. (2014). Influence of Dilution Conditions on Diesel Exhaust Particle Measurement Using a Mixing Tube Diluter. SAE Technical Paper 2014-01-1568, 14 p. [in English]. 8. Smart Sampler PC SPC 472. (1993). PC program for SPC 472 control. AVL, List GmbH Graz, Austria, 76 p. 9. Russel, R. (1993). Development of a Miniaturized, Dilution-Based Diesel Engine Particulate Sampling System for Gravimetric Measurement of Particulates. SAE Techn. Pap. Ser. №931190, 12 p. [in English]. 10. Polyvianchuk, A. (2015). Increasing the efficiency of particulate emission control systems with diesel exhaust gases: monograph [Pidvyshchennia efektyvnosti system kontroliu vykydiv tverdyykh chastynek z vidpratsovanymy hazamy dyzeliv: monohrafiia]. KhAHU, 224 p. [in Ukrainian]. 11. Polivyanchuk A.P. Features of Environmental Diagnostics of Heat Motors and Boiler Plants by Information Methods / A. Polivyanchuk, M. Ahieiev, 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.

chuk, A., Ahieiev, M., Kagramanian, A., Baranovskis, A., Samarin, O. (2020). *Features of Environmental Diagnostics of Heat Motors and Boiler Plants by Information Methods. ICTE in Transportation*

and Logistics 2019. Series: *Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. Springer, pp. 360-367. [in English].

Надійшла до редакції 15.08.2023 р.

Полив'ячук Андрій Павлович – доктор техн. наук, проф., професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля Вінницького національного технічного університету, Вінниця, Україна; e-mail – polyvianchuk_a@vntu.edu.ua; <http://orcid.org/0000-0002-9966-1938>.

Грицук Ігор Валерійович - доктор техн. наук, проф., професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної морської академії, Херсон, Україна, e-mail: griksuk_iv@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-7065-6820>.

Погорлецький Дмитро Сергійович - канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної морської академії, Херсон, Україна, e-mail: dimon150582@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1256-8053>.

Полив'ячук Наталія Миколаївна – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля Вінницького національного технічного університету, Вінниця, Україна; e-mail – polyvianchuk_n@vntu.edu.ua.

Єфімов Олексій Сергійович – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля Вінницького національного технічного університету, Вінниця, Україна; e-mail – efimov_o@vntu.edu.ua.

STUDY OF THE PROGRAMMABLE ISOKINETIC SAMPLER EFFICIENCY FOR OF ECOLOGICAL DIAGNOSTICS SYSTEMS OF HEAT ENGINES AND BOILER PLANTS

A. Polyvianchuk, I. Gritsuk, D. Pohorletskyi, N. Polyvianchuk, O. Efimov

The work is devoted to the solution of the actual scientific and practical task of creating a universal sampling device for systems of environmental diagnostics of heat engines and boiler plants of various purposes. Ensuring the isokinetic mode of sampling from the exhaust pipe (EP) of the engine is a more difficult task than carrying out a similar sampling process in the chimney of the boiler plant, since the exhaust gases of the engines are characterized by fluctuations of static pressures in the HT with an amplitude of up to ± 500 Pa, which must be taken into account in the operation of the sampling equipment. In the course of research, based on the analysis of global and domestic experience in the production and use of equipment for environmental certification of internal combustion engines and boiler houses, a programmable isokinetic sampler (ICT) was created, which allows you to take a proportional part of the gas sample from the full flow of exhaust gases in the EP of the power plant with accuracy $\pm 3\%$. Motorless and motorized test stands have been developed for modeling and research of gas-dynamic processes in the exhaust systems of engines and boiler plants, which provide the possibility of varying the parameters of gas flows - mass flow rate, speed, temperature, static pressure, velocity pressure in the ranges: 15 - 55 g/s; 5...30 m/s, 20...180 °C, 0...2.5 kPa, 10 - 550 Pa, respectively. On the basis of the created test stands, empirical dependences were established to determine the static pressure differences between the ICP and EP pipelines, in which the isokinetic mode of sampling is ensured, from the dynamic pressure of the gas flow in the EP. With the help of these dependencies, SMART control of the programmable ICP is carried out. An experimental development of the programmable ICP was carried out as part of the MT-1 minitunnel during environmental tests of the 1CH12/14 diesel engine in separate modes and according to the ESC cycle established by the UNECE Regulations R-49. The research results confirmed the compliance of the created sampling device with regulatory requirements for its design and the accuracy of determining the sampling coefficient.

Key words: heat engines; boiler plants; ecological diagnostics; exhaust gases; solid particles; isokinetic sampler; microtunnel.