

УДК 621.1.018

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА МИКРОТУНЕЛЯ МКТ-2 НА МОТОРНОМ СТЕНДЕ АВТОТРАКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Холкина Е.А.

### EXPERIMENTAL RESEARCH PROTOTYPES MICROTUNNEL MKT-2 ENGINE FOR BENCH AUTOMOTIVE ENGINES

Holkina H.

*Описан опытный образец системы контроля массовых выбросов твердых частиц, содержащихся в отработавших газах дизелей – микротуннель МКТ-2. Представлены результаты испытаний МКТ-2 на тормозном стенде дизеля СМД-23, в ходе которых отработывались процедуры измерений массовых выбросов твердых частиц на отдельных режимах работы двигателя и при его испытаниях по 13-ступенчатому циклу.*

**Ключевые слова:** микротуннель, отработанные газы, твердые частицы

#### Введение

Важной составляющей комплекса мер по обеспечению экологической безопасности дизельных силовых установок является контроль массовых выбросов загрязняющих веществ с отработавшими газами (ОГ) двигателя. Существенный вклад в суммарную токсичность дизеля вносят твердые частицы (ТЧ), представляющие собой смесь сажи, несгоревших углеводородов, сульфатов и других включений [1]. Для измерения массовых выбросов ТЧ с ОГ дизелей необходимы специальные дорогостоящие измерительные системы – разбавляющие туннели, которые в странах СНГ в настоящее время не производятся. Вместе с тем, отечественное двигателе- и машиностроение испытывают острую потребность в данном оборудовании, поскольку международными экологическими стандартами предусматривается нормирование массовых выбросов ТЧ дизелей и спектр двигателей, в отношении которых действуют данные нормы, постоянно расширяется.

В период 2013 – 2015 гг в специалистами ВНУ имени В. Даля и НТУ «ХПИ» выполнен комплекс работ по изучению опыта ведущих фирм-разработчиков разбавляющих туннелей – AVL,

Mitsubishi, Perkins и др., а также созданию и экспериментальной отработке макетного образца измерительного комплекса с микротуннелем МКТ-2 для контроля выбросов ТЧ с ОГ дизелей.

#### Постановка задачи

Основной целью создания и испытаний МКТ-2 являлось внедрение в практику экологических испытаний отечественных ДВС стандартных процедур измерений массовых выбросов ТЧ с ОГ, установленных международными нормативно-правовыми документами: Правилами ЕЭК ООН R-49 и R-96, стандартом ISO 8178 [2-4]. Достижение указанной цели обеспечивалось путем решения следующих задач:

- 1) монтаж системы контроля массовых выбросов ТЧ на тормозном стенде дизеля 4СН12/14 (СМД-23) в соответствии с установленными требованиями;
- 2) проведение замеров массовых выбросов ТЧ на отдельных режимах работы двигателя;
- 3) отработка процедуры измерения среднеэксплуатационного массового выброса ТЧ в результате испытаний дизеля по Европейскому 13-ступенчатому циклу.

#### Методика измерений выбросов ТЧ с помощью микротуннеля МКТ-2

Микротуннель МКТ-2 –автоматизированная измерительная система, спроектированная в соответствии с требованиями международных стандартов [5]. Принцип действия МКТ-2 состоит в следующем (рис. 1).

Часть ОГ с массовым расходом  $G_{\text{exh}}^t$  отбирается из выхлопной системы двигателя и подается в разбавляющий туннель, где происходит их смешивание с атмосферным воздухом. Таким

образом обеспечивается имитация естественного процесса разбавления ОГ, выбрасываемых из выхлопной трубы дизеля в атмосферу. Из туннеля поток разбавленных ОГ с массовым расходом  $G_{sam}$  через один из шаровых кранов поступает либо в байпасную магистраль, либо в рабочий канал, в котором установлен патрон с двумя фильтрами для отбора ТЧ (основным и вспомогательным). Шаровые краны K1 и K2 всегда находятся в противоположных состояниях: когда один открыт – другой закрыт и наоборот. При подготовке пробы к анализу открыт кран K1 и разбавленные ОГ протекают через байпасную магистраль. С помощью дросселя Д обеспечивается регулировка давления в данной магистрали таким образом, чтобы в момент переключения кранов не возникало гидравлического удара. При выполнении процедуры отбора проб ТЧ открыт кран K2 и вся проба разбавленных ОГ протекает через фильтры. При этом фиксируется продолжительность данной процедуры –  $\tau_{sam}$ . Величина, равная отношению массовых расходов  $G_{sam}$  и  $G_{exh}^t$ , называемая коэффициентом разбавления ОГ –  $q$ , в ходе испытаний устанавливается такой, чтобы температура пробы перед фильтрами  $t_f$  не превышала 52 °С.

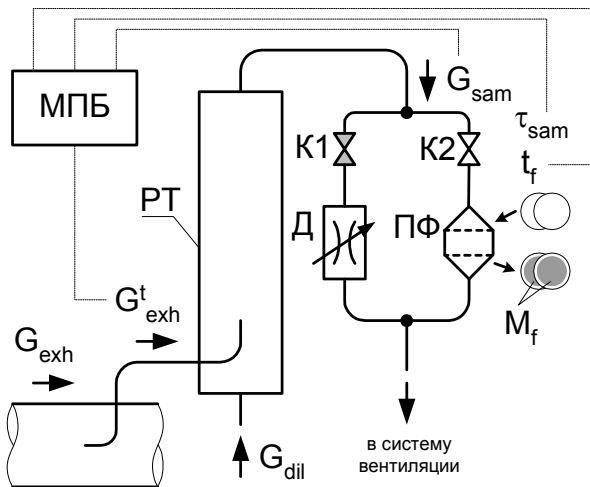


Рис. 1. Принципиальная схема микротуннеля MKT-2: МПБ – микропроцессорный блок; РТ – разбавляющий туннель; K1, K2 – шаровые краны; Д – дроссель; ПФ – патрон с фильтрами для отбора ТЧ

После завершения испытаний измеряется масса ТЧ –  $M_f$ , как прирост массы рабочих фильтров за время испытаний. Для контроля параметров  $G_{sam}$ ,  $G_{exh}^t$ ,  $\tau_{sam}$ ,  $t_f$  и управления шаровыми кранами K1 и K2 используется микропроцессорный блок. В ходе выполнения испытаний все указанные величины протоколируются и используются при вычислениях следующих показателей:

а) массовых выбросов ТЧ на отдельных режимах работы дизеля –  $PT_{massi}$ :

$$PT_{massi} = \frac{M_{fi}}{M_{sami}} \cdot q_i \cdot G_{exhi}, \text{ г/ч,}$$

где  $i$  – индекс режима;  $M_{sami} = G_{sami} \cdot \tau_{sami}$  – масса пробы разбавленных ОГ, прошедшей через фильтры на  $i$ -м режиме, г;  $G_{exhi}$  – массовый расход ОГ в выхлопной системе дизеля на  $i$ -м режиме, г/ч;

б) удельных выбросов ТЧ на отдельных режимах работы дизеля –  $\overline{PT}_{massi}$ :

$$\overline{PT}_{massi} = \frac{PT_{massi}}{N_{ei}}, \text{ г/кВт}\cdot\text{ч,}$$

где  $N_{ei}$  – эффективная мощность дизеля на  $i$ -м режиме, кВт.

При испытаниях дизеля по циклу по результатам испытаний рассчитывается среднеэксплуатационный массовый выброс ТЧ –  $PT$ :

$$PT = \frac{PT_{mass}^{test}}{N_e^{test}}, \text{ г/кВт}\cdot\text{ч,}$$

$$PT_{mass}^{test} = \sum_{i=1}^n (PT_{massi} \cdot WF_i), \text{ г/ч,}$$

$$N_e^{test} = \sum_{i=1}^n (N_{ei} \cdot WF_i), \text{ кВт,}$$

где  $PT_{mass}^{test}$  и  $N_e^{test}$  – средние за цикл массовый выброс ТЧ и эффективная мощность дизеля;  $n$  – число режимов испытательного цикла;  $WF_i$  – весовые факторы режимов испытательного цикла.

### Результаты исследований

Монтаж MKT-2 на испытательном стенде дизеля 4ЧН12/14 произведен в соответствии с установленными требованиями (рис. 2,а): пробоотборник ТЧ расположен на осевой линии прямолинейного участка выхлопной трубы двигателя и направлен навстречу потоку ОГ; расстояния до ближайших гидравлических сопротивлений соответствуют требуемым значениям (6 диаметров трубопровода перед пробоотборником ТЧ и 3 – за ним). С целью расширения возможностей испытательного стенда на прямолинейном участке отбора проб предусмотрены отверстия для установки пробоотборников газоаналитических приборов и дымомера.

В соответствии с изложенной методикой проведены замеры массовых и удельных выбросов ТЧ на режимах работы дизеля 4ЧН12/14 с различными значениями числа оборотов вала двигателя  $n$  – 1000, 1500 и 2000 об/мин и нагрузки  $L$

- 10, 25, 50, 75 и 100 % от максимального значения при данном  $n$  (рис. 2,б) [6,7].

Проведена експериментальна обробка процедури измерений среднеэксплуатационного

массового выброса ТЧ дизеля в ходе выполнения Европейского 13-ступенчатого цикла (рис. 3).

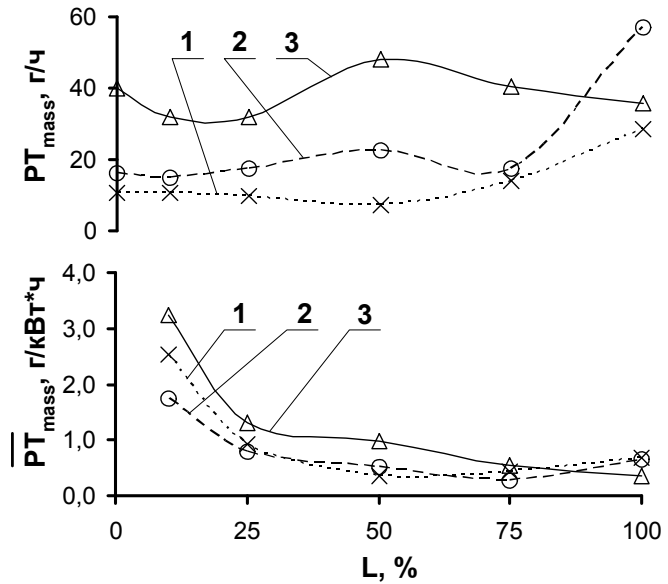
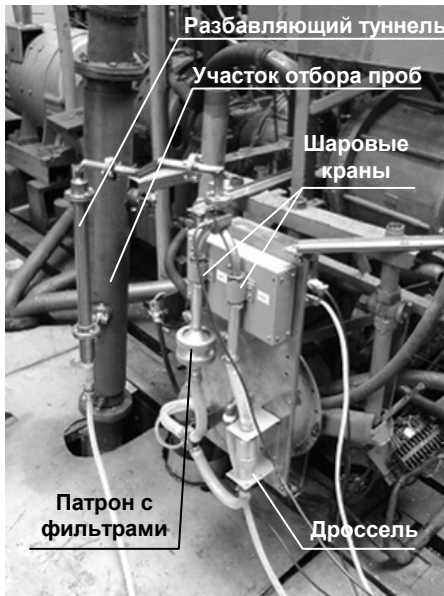


Рис. 2. Результаты монтажа и испытаний МКТ-2 на тормозном стенде дизеля 4ЧН12/14: а – общий вид МКТ-2; б – результаты исследований выбросов ТЧ с ОГ дизеля: 1 –  $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ ; 2 –  $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ ; 3 –  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$

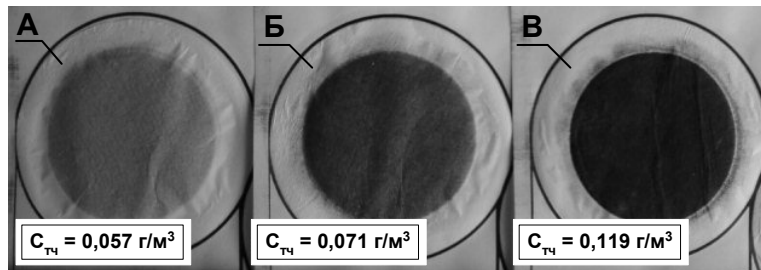
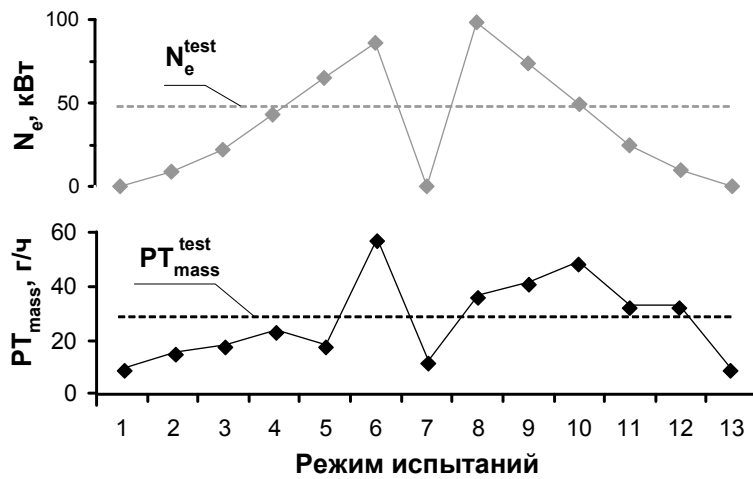


Рис. 3. Результаты исследований среднеэксплуатационного выброса ТЧ дизеля 4ЧН12/14

Испытания МКТ-2 продемонстрировали практическую пригодность данной измерительной системы для выполнения стандартных процедур измерений массовых выбросов ТЧ с ОГ, установленных международными нормативно-правовыми документами.

#### Выводы

1. Впервые создан и экспериментально опробован отечественный опытный образец системы контроля массовых выбросов ТЧ с ОГ дизелей - микротуннель МКТ-2. Данная система разработана в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН R-49, R -96 и международного стандарта ISO 8178.

2. С помощью микротуннеля МКТ-2 проведены замеры массовых (г/ч) и удельных (г/кВт·ч) выбросов ТЧ на отдельных режимах работы дизеля 4СН12/14, что продемонстрировало практическую пригодность МКТ-2 для проведения исследовательских испытаний.

3. Проведены испытания по отработке процедуры контроля среднеэксплуатационного массового выброса ТЧ в ходе испытаний дизеля 4СН12/14 по Европейскому 13-ступенчатому циклу. Испытания продемонстрировали практическую пригодность МКТ-2 для выполнения процедуры сертификационных испытаний дизелей.

#### Литература

1. Поливянчук А.П. Исследование степени токсичности вредных веществ, выбросы которых нормируются европейскими экологическими стандартами / А.П. Поливянчук, Е.Ю. Щепак, Е.Ю. Титова // Вестник Национального технического университета „ХПИ”. – 2007. - №2. – С. 112-115.
2. ISO 8178. Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part 1: Test – bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions, 1996. – 94 p.
3. Regulation No 49. Revision 5. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) and natural gas (NG) engines as well as positive-ignition (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. – 4 May 2011. – 194 p.
4. Regulation № 96. 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. Geneva, 1995. - 109 p.
5. Поливянчук А.П. Повышение универсальности и точности системы контроля выбросов дизельных твердых частиц - микротуннеля МКТ-2 / А.П. Поливянчук, Т.С. Харитоновна, Т.В. Несмашная // Авиационно-космична техніка і технологія. - 2007. - №9/45. - С. 67-70.

6. Поливянчук А.П. Влияние режимов работы автотракторного дизеля на выбросы твердых частиц с отработавшими газами / А.П. Марченко, И.В. Парсаданов, А.П. Поливянчук // Вісник Національного транспортного університету. – 2012. – № 25. – С. 151-155.
7. Поливянчук А.П. Определение и анализ уровней выбросов твердых частиц с отработавшими газами автомобильного дизеля на установившихся режимах работы / А.П. Поливянчук, И.В. Парсаданов, И.В. Рыкова // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. - №1. – С. 92-96.

#### References

1. Polivjanchuk A.P. Issledovanie stepeni toksichnosti vrednyh veshhestv, vybrosty kotoryh normirujutsja evropejskimi jekologicheskimi standartami / A.P. Polivjanchuk, E.Ju. Shhepak, E.Ju. Titova // Vestnik Nacional'nogo tehničeskogo universiteta „HPI”. – 2007. - №2. – S. 112-115.
2. ISO 8178. Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part 1: Test – bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions, 1996. – 94 p.
3. Regulation No 49. Revision 5. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) and natural gas (NG) engines as well as positive-ignition (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. – 4 May 2011. – 194 p.
4. Regulation № 96. 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. Geneva, 1995. - 109 p.
5. Polivjanchuk A.P. Povyshenie universal'nosti i tochnosti sistemy kontrolja vybrosov dizel'nyh tverdyh chastic - miktrotunnelja MKT-2 / A.P. Polivjanchuk, T.S. Haritonova, T.V. Nesmashnaja // Aviacijno-kosmichna tehnika i tehnologija. - 2007. - №9/45. - S. 67-70.
6. Polivjanchuk A.P. Vlijanie rezhimov raboty avtotraktornogo dizelja na vybrosty tverdyh chastic s otrabotavshimi gazami / A.P. Marchenko, I.V. Parsadanov, A.P. Polivjanchuk // Visnik Nacional'nogo transportnogo universitetu. – 2012. – № 25. – S. 151-155.
7. Polivjanchuk A.P. Opredelenie i analiz urovnej vybrosov tverdyh chastic s otrabotavshimi gazami avtomobil'nogo dizelja na ustanovivshihsia rezhimah raboty / A.P. Polivjanchuk, I.V. Parsadanov, I.V. Rykova // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 2009. - №1. – S. 92-96.

#### Холкіна О. О. Експериментальні дослідження макетного зразка микротуннеля МКТ-2 на моторні стенді автотракторних двигунів

*Описано оптичний зразок системи контролю масових викидів твердих частинок, що містяться у відпрацьованих газах дизелів – микротуннелю МКТ-2. Наведено результати випробувань МКТ-2 на гальміновому стенді дизеля СМД-23, в ході яких були опрацьовані процедури вимірювань масових викидів твердих частинок на окремих режимах роботи двигуна та при його випробуваннях по 13-ступінчатому циклу.*

**Ключевые слова:** мікротунель, відпрацьовані гази, тверді частинки

**Holkina O. Experimental research prototypes microtunnel MKT-2 engine for bench automotive engines**

*The experimental model of the control system of mass emissions of the particles in exhaust gases of diesel engines - microtunnel MKT-2 is described. Results of tests MKT-2 on the brake stand of diesel engine СМД-23 during which procedures of measurements of mass emissions of parti-cles*

*on separate power modes were fulfilled and at his tests on a 13-in steps cycle are submitted.*

**Keywords:** microtunnel, exhaust gases, particulates

**Холкіна Олена Олександрівна** – інженер Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Сєверодонецьк)

*Рецензент: Суворін О. В.* – д.т.н., доцент.

*Стаття подана 19.01.2015*