

УДК 621.43.068

А. П. ПОЛИВ'ЯНЧУК, д-р техн. наук, проф.,

Харківський національний університет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова,
ул. Маршала Бажанова, 17, г. Харьков, 61002, Украина
e-mail: apmail@meta.ua

Е. А. СКУРИДИНА

Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля,
проспект Центральный, 59-а, г. Северодонецк, 93400, Украина
e-mail: icd@snu.edu.ua

А. И. КАСЛИН

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
ул. Кирпичева, 21, г. Харьков, 61002, Украина
e-mail: dvs@kpi.kharkov.ua

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК – ТУННЕЛЕЙ

Цель. Повышение экологической безопасности тепловых двигателей за счет совершенствования стандартизированного метода измерений основного токсичного компонента отработавших газов – взвешенных (твердых) частиц. **Методы.** Анализ и синтез информации, математическое моделирование, экспериментальные исследования, расчетный эксперимент. **Результаты.** Проанализирована стандартная процедура экологического диагностирования автомобильных дизелей. Исследована результирующая погрешность измерений среднеэксплуатационного выброса взвешенных частиц с отработавшими газами. Предложены мероприятия по ее уменьшению. **Выводы.** Оценена точность гравиметрического метода измерений выбросов взвешенных частиц. Подтверждена эффективность мероприятий по усовершенствованию данного метода, позволяющих в 4,6 раза повысить его точность.

Ключевые слова: дизель, отработавшие газы, взвешенные частицы, среднеэксплуатационный выброс, результирующая погрешность

Polivyanchuk A. P.

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

Skuridina E. A.

East Ukrainian National University named after Vladimir Dal

Kaslin A. I.

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

IMPROVING THE EFFICIENCY OF ENVIRONMENTAL DIAGNOSIS OF DIESEL POWER PLANTS - TUNNEL

Purpose. Increase of ecological safety of thermal engines by improving the standardized method for measuring exhaust emissions of the main component - weighted (particulate) matter. **Methods.** Analysis and synthesis of information, mathematical modeling, experimental studies, computational experiment. **Results.** Analyzed the environmental standard procedure of diagnosing automotive diesels. Studied the resulting measurement error average in-use release of particulate matter from the exhaust gases. Proposed measures for its reduction. **Conclusions.** The accuracy of the gravimetric method of measurement of particulate matter emissions. It confirmed the effectiveness of measures for the improvement of this method, which allows 4.6 times increase its accuracy.

Keywords: diesel engine, exhaust gases, suspended particulate matter, average in-use emission, resulting error

Полив'янчук А. П.

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Скурідіна О. О.

Східноукраїнський національний університет імені В. Даля

Каслін О. І.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ СИЛОВИХ УСТАНОВОК - ТУНЕЛІВ

Мета. Підвищення екологічної безпеки теплових двигунів за рахунок вдосконалення стандартизованого методу вимірювань основного токсичного компонента відпрацьованих газів - зважених (твердих) частинок. **Методи.** Аналіз і синтез інформації, математичне моделювання, експериментальні дослідження, розрахунковий експеримент. **Результати.** Проаналізовано стандартну процедуру екологічного діагностування автомобільних дизелів. Досліджено результируючу похибку вимірювань середньо-експлуатаційного викиду зважених часток з відпрацьованими газами. Запропоновано заходи щодо її зменшення. **Висновки.** Оцінено

точність гравіметричного методу вимірювань викидів зважених часток. Підтверджено ефективність заходів щодо вдосконалення даного методу, які дозволяють в 4,6 разів підвищити його точність.

Ключові слова: дизель, відпрацьовані гази, зважені частинки, середньоексплуатаційний викид, результуюча похибка

Введение

С началом действия норм EURO (1993г.) в число основных экологических показателей дизеля введен среднеэксплуатационный выброс взвешенных частиц (ВЧ) с отработавшими газами (ОГ). Данная величина имеет обозначение РТ (от «particles» – частицы) и размерность – г/кВт·ч [1]. В виду высокой токсичности ВЧ (показатель относительной агрессивности данного вещества по сравнению с окисью углерода равен 200 [2]) нормы на показатель РТ для дизелей грузовых автомобилей в период 1993-2016 гг. уменьшились в 72 раза (с 0,36 до 0,005 г/кВт·ч). Это привело к возникновению актуальной проблемы возрастания результующей погрешности измерений величины РТ – δPT : при испытаниях в одной лаборатории – с $\pm 3\%$ до $\pm 12\%$, при межлабораторных исследованиях – с $\pm 12\%$ до $\pm 50\%$ [3, 4]. Как показывают результаты исследований зарубежных [5-7] и отечественных [8,9] авторов погрешность δPT включает в себя как инструментальную составляющую, обусловленную погрешностями измерительного оборудования, так и методи-

ческие составляющие, обусловленные влиянием условий проведения испытаний дизеля на измеряемую величину среднеэксплуатационного выброса ВЧ. Учет методических составляющих погрешности δPT при проведении испытаний позволяет повысить точность измерений показателя РТ.

Постановка задачи. Цель исследования – проведение оценки результующей погрешности измерений среднеэксплуатационного выброса ВЧ с ОГ дизеля с учетом значимости отдельных составляющих и предложение мероприятий по ее снижению. Для этого решены следующие задачи: 1) изучение стандартной процедуры измерений показателя РТ; 2) разработка математической модели результующей погрешности δPT ; 3) предложение мероприятий по повышению точности измерений величины РТ; 4) создание методики оценки погрешности δPT и значимости ее составляющих; 5) проведение оценки погрешности δPT и эффективности мероприятий по ее снижению.

Методы и методика исследований

Определение среднеэксплуатационного выброса ВЧ – РТ. Показатель РТ определяется в соответствии с требованиями Правил R-49 [1] в ходе выполнения Европейского стационарного цикла ESC (European Stationary Cycle), который состоит из 13-ти режимов с установленными значениями числа оборотов – n , нагрузки – L , весового фактора – WF (учитывает относительное время работы дизеля на режиме в процессе эксплуатации) и продолжительности испытаний – τ .

Значения чисел оборотов А, В и С (рис. 1) определяются с помощью выражений:

$$A = n_{lo} + 0,25 \cdot (n_{hi} - n_{lo});$$

$$B = n_{lo} + 0,50 \cdot (n_{hi} - n_{lo});$$

$$C = n_{lo} + 0,75 \cdot (n_{hi} - n_{lo});$$

где: n_{lo} – наименьшая частота вращения, при которой достигается 50% заявленной полезной мощности двигателя – P ; n_{hi} – наибольшая частота вращения, при которой достигается 75% от P .

На каждом режиме испытательного цикла производится отбор проб ВЧ из ОГ дизеля, предварительно разбавленных в специальном трубопроводе – туннеле чистым воздухом, имеющим температуру $t_{dil} = 25 \pm 5$ °С. Температура разбавленных ОГ перед фильтром для отбора ВЧ (используется один фильтр в течение всего цикла) не должна превышать 52 °С, но должна быть большей 42 °С.

По результатам испытаний производится расчет показателя РТ:

$$PT = \frac{PT_{mass}}{\bar{P}} = \frac{PT_{mass}}{\sum_{i=1}^{13} \epsilon_i \cdot WF_i}, \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}, \quad (1)$$

где PT_{mass} , \bar{P} – средние за цикл: массовый выброс ВЧ и полезная мощность дизеля.

$$PT_{mass} = \frac{m_f}{m_{sam}} \cdot \frac{\overline{G_{edf}}}{1000}, \text{ г/ч}, \quad (2)$$

где: m_f – масса ВЧ, собранная на фильтре за цикл, мг; m_{sam} – масса пробы разбавленных

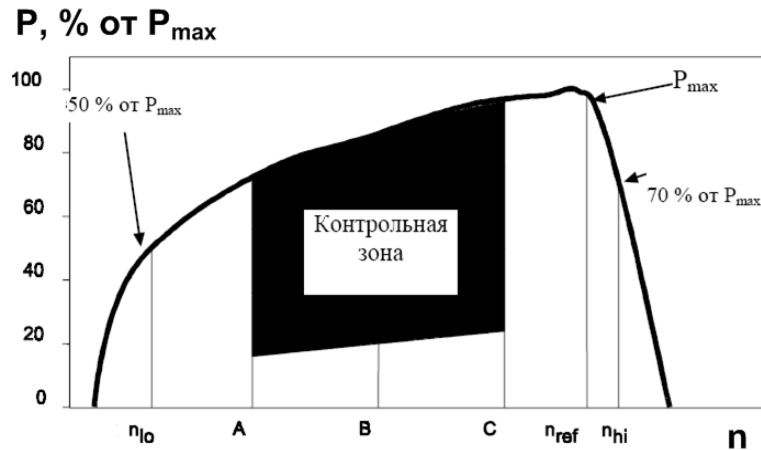


Рис. 1 – Определение значений А, В и С

ОГ, прошедшая через фильтр за цикл (при условии пропорциональности количества отобранной пробы на каждом режиме соответствующему весовому коэффициенту), кг; $\overline{G_{edf}}$ - средний эквивалентный массовый расход разбавленных ОГ:

$$\overline{G_{edf}} = q_i \cdot G_{exhi}, \text{ кг/ч}, \quad (3)$$

где: q_i – коэффициент разбавления ОГ на i -м режиме – отношение массовых расходов разбавленных и неразбавленных ОГ в туннеле; G_{exhi} – массовый расход ОГ дизеля на i -м режиме, кг/ч.

Для определения полезной мощности P_i используется выражение:

$$P_i = \frac{n_i \cdot M_{ki}}{9550} - P_{auxi}, \text{ кВт}, \quad (4)$$

где: n_i , M_{ki} – число оборотов (мин⁻¹) и крутящий момент (Н*м) на i -м режиме; P_{auxi} – мощность, затрачиваемая на работу вспомогательного оборудования на i -м режиме, кВт.

Перед определением величины m_f фильтр с ВЧ предварительно выдерживают с целью стабилизации его массы в специальной камере или комнате при постоянных температуре - t_{st} и относительной влажности – φ_{st} воздуха (могут находиться в диапазонах: t_{st}

$22 \pm 3^\circ \text{C}$, $\varphi_{st} = 45 \pm 10\%$) в течение промежутка времени $\tau_{st} = 1 \dots 80$ ч.

При выполнении описанной процедуры в туннеле могут поддерживаться различные режимы разбавления ОГ.

D1 – режим CVS (от «Constant Volume Sampling»), при котором массовый расход разбавленных ОГ в туннеле поддерживается постоянным:

$$G_{edfi} = const; q_i = q_a \cdot \frac{G_{exha}}{G_{exhi}},$$

где a – индекс режима испытаний, на котором выбрасывается наибольшее количество ОГ; при этом q_a – наименьшее из всех значений коэффициентов разбавления ОГ.

Данный режим до 2000 г. (введения норм EURO-3) являлся основным и использовался в эталонных системах контроля среднеэксплуатационных выбросов ВЧ – полнопоточных туннелях (в которых разбавляются все ОГ дизеля). С 2000 г., с введением в действие 3-й серии поправок к Правилам R-49, спектр применяемых в туннелях режимов разбавления ОГ был расширен. При использовании режима D1 величина массы ВЧ, собранных на фильтре, примерно равна своему минимально допустимому значению – 0,25 мг. С целью увеличения массы навески ВЧ допускается проведение повторных испытаний дизеля по циклу ESC с использованием одного фильтра с последующей корректировкой результатов вычислений.

D2 – режим CVS с воздушным охлаждением туннеля. Применяемые сегодня системы охлаждения туннелей позволяют снизить до допустимого уровня – 52°C температуру пробы перед фильтром для отбора ВЧ, превышающую этот уровень на величину $\Delta t_{(52)} = 0 \dots 20^\circ \text{C}$; за счет этого удается уменьшить нижний предел коэффициентов разбавления ОГ, повысить концентрации ВЧ в разбавленных ОГ и увеличить m_f на 34%; точность измерений показателя РТ при этом повышается.

D3 – режим разбавления ОГ с постоянным коэффициентом q :

$$q_i = q = const.$$

В результате разбавления ОГ данным способом концентрации ВЧ в разбавленных ОГ на режимах испытательного цикла возрастают по сравнению с CVS-разбавлением в $(G_{\text{exha}} / G_{\text{exhi}})$ раз, что позволяет на 18% увеличить m_f и повысить точность измерений показателя РТ.

D4 – режим разбавления ОГ с постоянным коэффициентом q и воздушным охлаждением туннеля. При использовании данного режима точность измерений показателя РТ возрастает за счет увеличения величины m_f на 58% по сравнению с режимом D1; такой результат достигается снижением нижнего предела коэффициентов разбавления ОГ (при котором температура t_f не превышает 52 °С); воздушное охлаждение позволяет снизить данную температуру на величину $\Delta t_{f(52)} = 0 \dots 20$ °С.

Математическая модель результирующей погрешности δPT . На основе анализа результатов исследований фирм Mitsubishi [5] и AVL [6], а также результатов собственных исследований [8, 9], авторами предложена математическая модель погрешности δPT , в которой данная величина рассматривается в виде суммы 3-х составляющих:

$$\delta PT = \delta PT_{in} + \delta PT_{tf} + \delta PT_{st}, \quad (5)$$

где: δPT_{in} – инструментальная погрешность, обусловленная неточностями измерения величин, с помощью которых вычисляется показатель РТ; δPT_{tf} – методическая погрешность, обусловленная влиянием температуры пробы перед фильтром для отбора ВЧ на результат измерений РТ; δPT_{st} – методическая погрешность, обусловленная влиянием на результат измерений показателя РТ параметров процесса стабилизации рабочего фильтра перед его взвешиванием: температуры воздуха – t_{st} и продолжительности выдержки фильтра – τ_{st} .

Величина δPT_{in} определяется с помощью зависимости для вычисления погрешности результата косвенных измерений:

$$\delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \cdot \frac{x_i}{y} \cdot \delta x_i \right)^2}, \quad (6)$$

где: y – величина, измеряемая косвенным путем по известной зависимости $y = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$; x_i – величины, с помощью которых определяется y , m – их количество.

Погрешность δPT_{tf} численно равна величине δm_f^{tf} – относительному отклонению массы навески ВЧ – m_f^{tf} , измеренной при

фактических значениях температур t_{fi} , от массы навески ВЧ – m_f^{tf0} , измеренной при значениях температур t_{f0i} , принимаемых за базовые и соответствующих CVS-разбавлению ОГ при $t_{dil} = 20$ °С, $t_{f(max)} = 52$ °С:

$$\delta PT_{tf} = \delta m_f^{tf} = \frac{m_f^{tf} - m_f^{tf0}}{m_f^{tf0}} \cdot 100\% = \sum_{i=1}^{13} \delta m_{fi}^{tf}, \quad (7)$$

где: δm_{fi}^{tf} – относительные отклонения массы навески ВЧ на i -м режиме испытаний:

$$\delta m_{fi}^{tf} = \frac{m_{fi}^{tf} - m_{fi}^{tf0}}{m_{fi}^{tf0}} \cdot 100\%. \quad (8)$$

Погрешность δPT_{st} численно равна величине δm_f^{st} – относительному отклонению массы навески ВЧ – m_f^{st} , измеренной при фактических значениях величин t_{st} и τ_{st} , от массы навески ВЧ – m_f^{st0} , измеренной при значениях $t_{st0} = 20$ °С и $\tau_{st0} = 6$ ч, принимаемых за базовые:

$$\delta PT_{st} = \delta m_f^{st} = \frac{m_f^{st} - m_f^{st0}}{m_f^{st0}} \cdot 100\%. \quad (9)$$

Для вычисления величин δm_f^{tf} и δm_f^{st} используются экспериментальные зависимости, полученные авторами [9]:

$$\delta m_{fi}^{tf} = - \left(20 + 0,148 \cdot \bar{n}_i - 0,552 \cdot \bar{L}_i \right) \cdot \Delta t_{fi}, \quad \%, \quad (10)$$

где: \bar{n}_i , \bar{L}_i – относительные число оборотов и нагрузка на вал двигателя на i -м режиме; $\Delta t_{fi} = t_{fi} - t_{f0i}$ – разности температур.

$$\delta m_f^{st} = \frac{-5,72 \cdot \left(+0,071 \cdot \left(t_{st} - t_{st0} \right) \right) \cdot \lg \left(\frac{\tau_{st}}{\tau_{st0}} \right)}{1,508 - 0,003 \cdot \left(t_{st} - t_{st0} \right)}, \quad \%. \quad (11)$$

Величины \bar{n}_i , \bar{L}_i , входящие в выражение (10), вычисляются по формулам:

$$\bar{n}_i = \frac{n_i - n_{idle}}{n_{nom} - n_{idle}}, \quad \bar{L}_i = \frac{M_{ki}}{M_{k(max)i}}, \quad (12)$$

где: n_{idle} и n_{nom} – число оборотов вала двигателя на холостом ходу и режиме номинальной мощности; $M_{k(max)i}$ – максимальный крутящий момент на валу двигателя при n_i .

Методика исследований погрешности δPT (с учетом рекомендаций по ее уменьшению). На основе анализа причин возникновения методических погрешностей δPT_{tf} и δPT_{st} сделаны следующие рекомендации по их снижению и повышению за счет этого точности измерений показателя РТ:

а) сокращение в 5 раз допустимых диапазонов варьирования температуры разбавля-

ющего воздуха и максимальной температуры пробы перед фильтром - до интервалов: $t_{dil} = 20..22$ °C, $t_{f(max)} = 50..52$ °C; это позволяет сократить интервалы варьирования температур t_{fi} ;

б) использование в туннеле режима разбавления ОГ D4 с температурным регулированием – D4*, позволяющим поддерживать значения температур t_{fi} такими же, как при режиме CVS (т.е. t_{f0}); это позволяет собрать на фильтре максимальную массу навески ВЧ и уменьшить отклонения δm_{fi}^{if} (см. (10));

в) сокращение диапазонов варьирования параметров процесса стабилизации рабочего фильтра до интервалов: $t_{st} = 20..22$ °C (сокращен в 3 раза), $\tau_{st} = 6..8$ ч (сокращен в 39,5 раза); это позволяет уменьшить погрешность δPT_{st} - при таких t_{st} и τ_{st} она не превышает $\pm 0,5\%$.

Оценка результирующей погрешности δPT и эффективности сделанных рекомендаций проводится по следующему алгоритму.

1. Выбор исходных данных для проведения исследований – результатов испытаний дизеля по циклу ESC с указанием всех параметров, влияющих на точность измерений показателя РТ.

2. Определение для каждого режима разбавления ОГ инструментальной погрешности δPT_{in} путем последовательного вычисления с помощью выражения (6) погрешностей величин, которые рассчитываются по формулам (1) – (4).

3. Установление (с учетом режима разбавления ОГ) диапазонов варьирования методической погрешности δPT_{if} ; для этого с помощью выражений (7), (10) и метода планирования 2-х факторного эксперимента [10] определяются: а) для режимов разбавления

D1 и D3 – зависимости $\delta PT_{if} = f(t_{dil}, t_{f(max)})$ с областью задания функции: $t_{dil} = 20..30$ °C, $t_{f(max)} = 42..52$ °C; б) для режимов разбавления D2 и D4 – зависимости $\delta PT_{if} = f(t_{dil}, \Delta t_{f(52)})$ с областью задания функции: $t_{dil} = 20..30$ °C, $\Delta t_{f(52)} = 0..20$ °C. Абсолютные отклонения величины δPT_{if} , вычисляемые с помощью полученных зависимостей, от значений, рассчитанных по формуле (7), не должны превышать $\pm 0,05\%$.

4. Определение с помощью зависимостей (9), (11) диапазона варьирования методической погрешности δPT_{st} в области допустимых значений величин t_{st} и τ_{st} .

5. Установление диапазона варьирования результирующей погрешности δPT (с помощью выражения (5)), а также значений ширины диапазонов варьирования данной погрешности – δPT^{sum} и ее составляющих – δPT_j^{sum} :

$$\delta PT^{sum} = \delta PT^{+} - \delta PT^{-};$$

$$\delta PT_j^{sum} = \delta PT_j^{+} - \delta PT_j^{-},$$

где: индексы «+» и «-» соответствуют граничным значениям диапазонов варьирования соответствующих погрешностей в области положительных и отрицательных значений; j – индекс составляющей результирующей погрешности (in, if или st).

6. Определение относительного вклада (в %) в результирующую погрешность δPT каждой ее составляющей – R_j :

$$R_j = \frac{\delta PT_j^{sum}}{\delta PT^{sum}} \cdot 100\% .$$

7. Вычисление погрешности δPT и ее составляющих при выполнении предложенных рекомендаций.

Результаты и обсуждение

В качестве исходных данных для проведения исследований использованы результаты испытаний дизеля 1Ч12/14 по циклу ESC (табл. 1). В соответствии с изложенной методикой определены: диапазоны варьирования результирующей погрешности δPT и ее составляющих (табл. 2, рис. 2, 3); относительный вклад каждой составляющей в погрешность δPT ; оценена эффективность сделанных рекомендаций (рис. 4).

Анализ полученных результатов показывает:

- составляющие результирующей погрешности измерений показателя РТ варьируются в диапазонах: а) при допустимых Правилами R-49 условиях проведения испытаний – $\delta PT_{in} = \pm 2,6... \pm 4,5\%$, $\delta PT_{if} = -8,3...12,6\%$,

$\delta PT_{st} = -6,7...4,5\%$; б) при рекомендуемых условиях проведения испытаний – $\delta PT_{in} = \pm 3\%$, $\delta PT_{if} = -0,5...1,2\%$, $\delta PT_{st} = -0,5...0\%$;

- при использовании допускаемых режимов разбавления ОГ результирующая погрешность δPT варьируется в диапазоне -18,0...19,7%, ширина данного диапазона составляет 37,7%; при этом наибольший вклад в δPT вносят методические составляющие – суммарно 76%; вклад инструментальной составляющей – 24%;

- повторное выполнение дополнительного цикла ESC при CVS-разбавлении ОГ в туннеле не позволяет повысить точность измерений показателя РТ – не смотря на то, что инструментальная погрешность при

Таблиця 1

Результаты испытаний дизеля 1Ч12/14 по циклу ESC при $t_{дл} = 20\text{ }^\circ\text{C}$, $t_{f(max)} = 52\text{ }^\circ\text{C}$

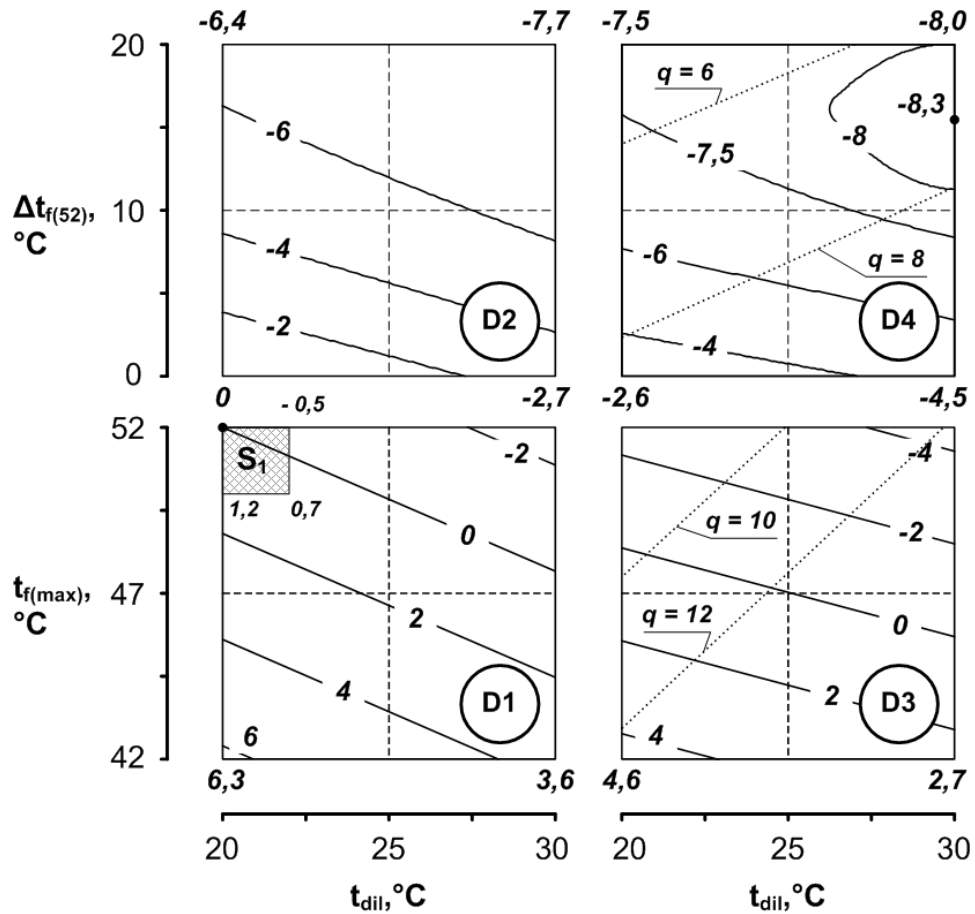
№ _{реж}	Параметры дизеля					Параметры разбавления ОГ			
	n, мин ⁻¹	M _k , Н*м	G _{exh} , кг/ч	t _{exh} , °C	PT _{mas} с ³ / г/ч	q		t _b , °C	
						D1	D3	D1	D3
1	800	0	40,3	85	4,6	14,6	8,6	23,9	26,6
2	1010	50	50,8	317	12,8	11,6	8,6	40,0	47,0
3	1185	25	59,8	302	11,3	9,8	8,6	42,5	45,8
4	1185	37,5	59,0	325	13,1	9,9	8,6	43,8	47,6
5	1010	25	50,4	244	9,0	11,6	8,6	35,6	41,1
6	1010	37,5	50,8	291	10,9	11,6	8,6	38,5	44,9
7	1010	12,5	51,1	210	8,1	11,5	8,6	33,6	38,2
8	1185	50	59,4	342	14,9	9,9	8,6	45,0	48,8
9	1185	12,5	59,8	254	10,5	9,8	8,6	39,2	42,0
10	1360	50	68,4	386	16,7	8,6	8,6	52,0	52,0
11	1360	12,5	68,4	285	13,1	8,6	8,6	44,5	44,5
12	1360	37,5	68,0	371	15,2	8,6	8,6	50,8	50,9
13	1360	25	68,2	349	13,7	8,6	8,6	49,5	49,4

Таблиця 2

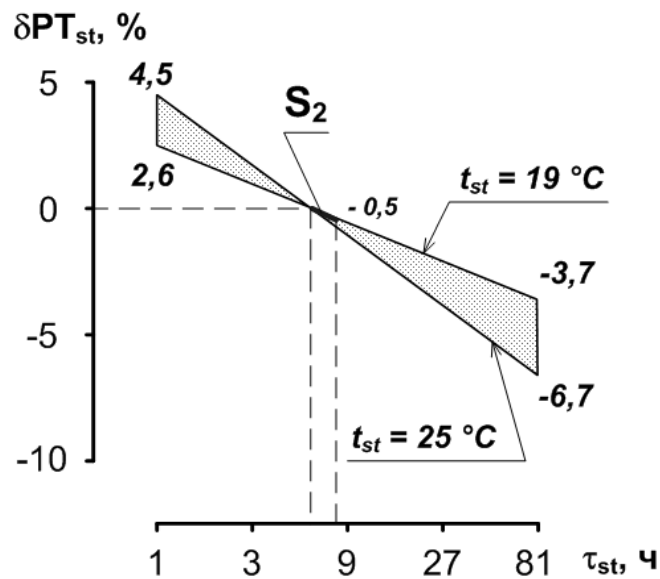
Результаты определения инструментальной погрешности δPT_{in}

Погрешность	Выражение для вычисления погрешности *1/100	Значение погрешности, %				
		D1 2 цикла	D1	D2	D3	D4
δM_f	$\Delta M_f / M_f$	2,1	4,1	2,8	3,4	2,4
δM_{sam}	$\delta M_{sami} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{13} WF_i^2}$	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6
δq_i	$\sqrt{2 \cdot \delta G^{(a)} \cdot (q_i - 1)}$	3,8 ^{б)}	3,8 ^{б)}	2,3 ^{б)}	2,2	1,2
δG_{edfi}	$\sqrt{\delta q_i^2 + \delta G_{exhi}^2}$	4,6 ^{б)}	4,6 ^{б)}	3,6 ^{б)}	3,3	2,8
$\overline{\delta G_{edf}}$	$\sqrt{\sum_{i=1}^{13} (WF_i \cdot k_{Gedfi}^{(в)}) \cdot \delta G_{edfi}^2}$	1,0	1,4	1,1	1,3	1,1
δPT_{mass}	$\sqrt{\delta M_f^2 + \delta M_{sam}^2 + \overline{\delta G_{edf}}^2}$	2,4	4,4	3,1	3,7	2,7
δP_i	$\sqrt{\delta n^2 + \delta M_k^2}$	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
$\overline{\delta P}$	$\delta P_i \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{13} (WF_i \cdot k_{Pi}^{(г)})^2}$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
δPT	$\sqrt{\delta PT_{mass}^2 + \overline{\delta P}^2}$	2,6	4,5	3,3	3,9	3,0

Примечания: а) δG – погрешность расходомеров, измеряющих массовые расходы разбавленных ОГ и воздуха в туннеле при дифференциальном способе определения массового расхода ОГ (принимается равной 0,2%); б) приведены максимальные значения погрешностей δq_i ; в) $k_{Gedfi} = G_{edfi} / \overline{G_{edf}}$ – коэффициенты; г) $k_{Pi} = P_i / \overline{P_i}$ – коэффициенты.



S_1 – область рекомендуемых значений параметров t_{dil} и $t_{f(max)}$
 Рис. 2 – Диапазоны варьирования методической погрешности δPT_{fif}



S_2 – область рекомендуемых значений параметров τ_{st} и t_{st} .
 Рис. 3 – Диапазон варьирования методической погрешности δPT_{st}

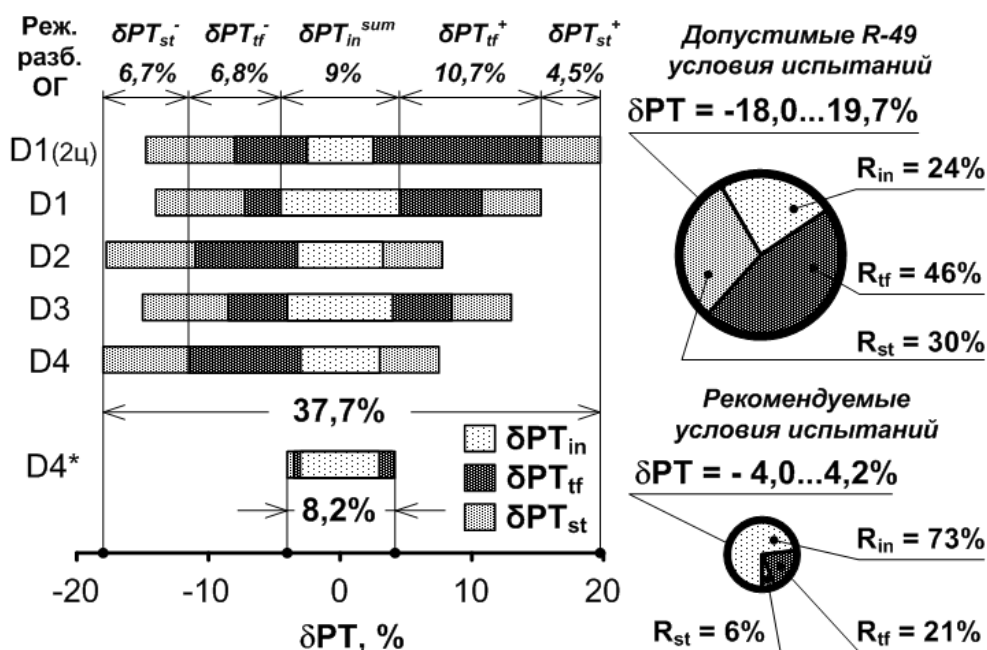


Рис. 4 – Результаты исследований результирующей погрешности δPT

этом снижается с 4,5% до 2,6%, результирующая погрешность возрастает с -13,9...15,3% (разброс 29,2%) до -14,7...19,7% (разброс 34,7%) за счет увеличения методической погрешности δPT_{tf} ;

- в результате выполнения предложенных рекомендаций результирующая

погрешность δPT снижается до -4,0...4,2%, ширина диапазона варьирования данной величины (8,2%) уменьшается в 4,6 раза; при этом вклад инструментальной составляющей в δPT возрастает до 73%, а суммарный вклад методических составляющих снижается до 27%.

Выводы

1. Оценена результирующая погрешность измерения среднеэксплуатационного выброса ВЧ с ОГ дизеля (δPT) – она составляет -18,0...19,7% (т.е. расхождение результатов – 37,7%); при этом только 24% от данной величины приходится на инструментальную составляющую, а остальные 76% составляют методические составляющие.

2. Предложены мероприятия по повышению точности измерений показателя РТ которые позволяют уменьшить погрешность δPT в 4,6 раза – до -4,0...4,2% (разброс 8,2%), при этом доля инструментальной составляющей данной величины возрастает до 73%, а суммарная доля методических составляющих уменьшается до 27%.

Литература

1. Regulation No 49. Revision 5. Uniform provisions concerning the measures to be taken against the emission of gaseous and particulate pollutants from compressionignition engines for use in vehicles, and the emission of gaseous pollutants from positive-ignition engines fuelled with natural gas or liquefied petroleum gas for use in vehicles. - 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. 602 p.

2. Быстров А. С., Варанкин В. В., Виленский М. А. и др. Временная типовая методика

определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды.// М.: «Экономика». 1986. 96 с.

3. Звонов В. А., Корнилов Г. С., Козлов А. В., Симонова Е. А. Оценка и контроль выбросов дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей., – М.: «Прима-Пресс-М», 2005. – 312 с.

4. Burtcher H. Literature Study on Tailpipe Particulate Emission Measurement for Diesel Engines // done for the Particle Measurement Programme (PMP) for BUWAL/GRPE . Fachhochschule Aargau,

University of Applied Science, Windisch, Switzerland. March 2001. 45 p.

5. Hirakouchi N., Fukano I., Shoji T. Measurement of Diesel Exhaust Emissions with Mini-Dilution Tunnel. // SAE Technical Paper Series. 1989. № 890181. 11p.

6. Lianga Z., Tiana J., Zeraati Rezaeia S., Zhanga Y. et al. Investigation of SVOC nanoparticle emission from light duty diesel engine using GC×GC-ToF-MS.// School of Mechanical Engineering, University of Birmingham, UK, 2015. – 31 p.

7. Alozie N., Peirce D., Lindner A., Winklmayr W. et al. Influence of Dilution Conditions on Diesel Exhaust Particle Measurement Using a Mixing Tube Diluter // SAE Technical Paper № 2014-01-1568, 2014. 14 p.

8. Polivyanchuk A. Improving the efficiency of emission control dispersed particles from diesel exhaust gases. // Вісник Харківського національного університету ім. Каразіна. Серія «Екологія». 2014. №1140, вип. 11. С. 83-88.

9. Polivyanchuk A.P., Parsadanov I.V. Experimental verification of microtunnel MKT-2 on the brake stand autotractor diesel engine. // Industrial technology and engineering. Republic of Kazakhstan, 2015. №2 (15). P. 11-16.

10. Рафалес-Ламарка Э.Э. Инструкция по планированию эксперимента. // Укр. проектно-констр. и научно-исслед. ин-т «УкрНИИ-углеобогашение». 1969. 126 с.

Надійшла до редколегії 28.09.2016