

А.П. Поливянчук, С.А. Львов

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ ВЫБРОСОВ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ ДИЗЕЛЯ

*Исследована результирующая погрешность измерений одного из основных экологических показателей дизеля – среднеэксплуатационного выброса твердых частиц с отработавшими газами ( $\delta PT$ ). Создана математическая модель данной погрешности. Предложены мероприятия по ее уменьшению. На основе результатов испытаний автотракторного дизеля 4ЧН12/14 оценены инструментальная и методические составляющие погрешности  $\delta PT$ , эффективность предложенных мероприятий.*

### Введение

С началом действия норм EURO (1993г.) в число основных экологических показателей дизеля введен среднеэксплуатационный выброс твердых частиц (ТЧ) с отработавшими газами (ОГ). Данная величина имеет обозначение  $PT$  (от «particles» - частицы) и размерность – г/кВт·ч [1]. В виду высокой токсичности ТЧ (показатель относительной агрессивности данного вещества по сравнению с окисью углерода равен 200 [2]) нормы на показатель  $PT$  в период 1993-2005 гг. уменьшились в 18 раз (с 0,36 до 0,02 г/кВт·ч) [3]. Это привело к возрастанию результирующей погрешности измерений величины  $PT$  –  $\delta PT$ : при испытаниях в одной лаборатории – с  $\pm 3\%$  до  $\pm 12\%$ , при межлабораторных исследованиях - с  $\pm 12\%$  до  $\pm 50\%$  [4]. Как показывают результаты исследований зарубежных [5-7] и отечественных [8,9] авторов погрешность  $\delta PT$  включает в себя как инструментальную составляющую, обусловленную погрешностями измерительного оборудования, так и методические составляющие, обусловленные влиянием условий проведения испытаний дизеля на измеряемую среднюю величину выброса ТЧ. Учет методических составляющих погрешности  $\delta PT$  при проведении испытаний позволяет повысить точность измерений показателя  $PT$ .

### Постановка задачи

Цель исследований – дать оценку результирующей погрешности измерений средней за цикл испытаний величины выброса ТЧ с ОГ дизеля с учетом значимости отдельных составляющих и предложить мероприятия по ее снижению. Для этого решены следующие задачи: 1) изучение стандартной процедуры измерений показателя  $PT$ ; 2) разработка математической модели результирующей погрешности  $\delta PT$ ; 3) предложение мероприятий по повышению точности измерений величины  $PT$ ; 4) создание методики оценки погрешности  $\delta PT$  и значимости ее составляющих; 5) оценка погрешности  $\delta PT$  и эффективности мероприятий по ее снижению.

### Определение среднеэксплуатационного выброса ТЧ с ОГ автомобильного дизеля

Показатель  $PT$  автомобильного дизеля 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 частоты вращения коленчатого вала, нагрузки, весового фактора (учитывает относительное время работы дизеля на режиме в процессе эксплуатации) и продолжительности испытаний.

На каждом режиме цикла производится отбор проб ТЧ 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 ТЧ (используется один фильтр в течение всего цикла) не должна превышать 52 °С, но должна быть большей 42 °С.

По результатам испытаний производится расчет показателя  $PT$ :

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

где  $PT_{mass}$ ,  $\bar{P}$  – средние за цикл: массовый выброс ТЧ и эффективная мощность дизеля,  $P_i$ ,  $WF_i$  – эффективная мощность и весовой фактор  $i$ -го режима.

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

где  $m_f$  – масса ТЧ, собранная на фильтре за цикл, мг;  $m_{sam}$  – масса пробы разбавленных 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.

При определении  $m_f$  фильтр с ТЧ стабилизируют в специальной камере или комнате при постоянных температуре -  $t_{st}$  и относительной влажности -  $\varphi_{st}$  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.

В туннеле могут поддерживаться различные режимы разбавления (dilution mode) ОГ: **D1** - CVS-режим (от «Constant Volume Sampling») с постоянным массовым расходом разбавленных ОГ в туннеле; **D2** - CVS-режим с воздушным охлаждением туннеля, за счет которого температура перед фильтром -  $t_f$  может быть снижена на величину  $\Delta t_{f(s2)} = 0 \dots 20^\circ \text{C}$ ; **D3** - режим с постоянным коэффициентом  $q$ ; **D4** - режим с постоянным коэффициентом  $q$  и воздушным охлаждением туннеля, при котором на фильтре отбирается максимальное количество ТЧ.

### Математическая модель результирующей погрешности $\delta PT$

На основе анализа результатов исследований фирм Mitsubishi [5] и AVL [6], а также результатов собственных исследований [8,9], предложена математическая модель оценки погрешности  $\delta PT$ , в которой данная величина рассматривается в виде суммы 3-х составляющих:

$$\delta PT = \delta PT_{in} + \delta PT_{fj} + \delta PT_{st}, \quad (4)$$

где  $\delta PT_{in}$  – инструментальная погрешность, обусловленная неточностями измерения величин, с помощью которых вычисляется показатель РТ;  $\delta PT_{fj}$  – методическая погрешность, обусловленная влиянием температуры пробы перед фильтром для отбора ТЧ на результат измерений РТ;  $\delta PT_{st}$  – 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 –  $\tau_{st}$ .

Величина  $\delta PT_{in}$  определяется с помощью зависимости для вычисления погрешности результата косвенных измерений:

$$\delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial y}{\partial x_i} \cdot \frac{x_i}{y} \cdot \delta x_i \right)^2}, \quad (5)$$

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  $\delta PT_{fj}$  численно равна величине  $\delta m_{fj}^{ff}$  – относительному отклонению массы навески ТЧ -  $m_{fj}^{ff}$ , измеренной при фактических значениях температур  $t_{fi}$ , от массы навески ТЧ -  $m_{fj}^{ff0}$ , измеренной при значениях температур  $t_{fi0}$ , принимаемых за

базовые и соответствующих CVS-разбавлению ОГ при  $t_{dil} = 20^\circ \text{C}$ ,  $t_{f(max)} = 52^\circ \text{C}$ :

$$\delta PT_{fj} = \delta m_{fj}^{ff} = \frac{m_{fj}^{ff} - m_{fj}^{ff0}}{m_{fj}^{ff0}} \cdot 100\% = \sum_{i=1}^{13} \delta m_{fi}^{ff}, \quad (6)$$

где  $\delta m_{fi}^{ff}$  – относительные отклонения массы навески ТЧ на  $i$ -м режиме испытаний:

$$\delta m_{fi}^{ff} = \frac{m_{fi}^{ff} - m_{fi}^{ff0}}{m_{fi}^{ff0}} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Погрешность  $\delta PT_{st}$  численно равна величине  $\delta m_{st}^{st}$  – относительному отклонению массы навески ТЧ -  $m_{st}^{st}$ , измеренной при фактических значениях величин  $t_{st}$  и  $\tau_{st}$ , от массы навески ТЧ -  $m_{st}^{st0}$ , измеренной при значениях  $t_{st0} = 20^\circ \text{C}$  и  $\tau_{st0} = 6$  ч, принимаемых за базовые:

$$\delta PT_{st} = \delta m_{st}^{st} = \frac{m_{st}^{st} - m_{st}^{st0}}{m_{st}^{st0}} \cdot 100\%. \quad (8)$$

Для вычисления величин  $\delta m_{fj}^{ff}$  и  $\delta m_{st}^{st}$  используются экспериментальные зависимости [9]:

$$\delta m_{fi}^{ff} = -(1,20 + 0,148 \cdot \bar{n}_i - 0,552 \cdot \bar{L}_i) \cdot \Delta t_{fi}, \%, \quad (9)$$

где  $\bar{n}_i$ ,  $\bar{L}_i$  – относительные число оборотов и нагрузка на вал двигателя на  $i$ -м режиме;  $\Delta t_{fi} = t_{fi} - t_{fi0}$  – разности температур.

$$\delta m_{st}^{st} = \frac{-5,72 \cdot (1 + 0,071 \cdot (t_{st} - t_{st0}))}{1,508 - 0,003 \cdot (t_{st} - t_{st0})} \cdot \lg \left( \frac{\tau_{st}}{\tau_{st0}} \right), \%. \quad (10)$$

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

$$\bar{n}_i = \frac{n_i - n_{idle}}{n_{nom} - n_{idle}}, \quad \bar{L}_i = \frac{M_{ki}}{M_{k(max)i}}, \quad (11)$$

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 $\delta PT$ с учетом рекомендаций по ее уменьшению

На основе анализа причин возникновения погрешностей  $\delta PT_{fj}$  и  $\delta PT_{st}$  даны следующие рекомендации по их снижению и повышению за счет этого точности измерений показателя РТ:

а) сокращение в 5 раз допустимых диапазонов варьирования температуры разбавляющего воздуха и максимальной температуры пробы перед фильтром - до интервалов:  $t_{dil} = 20 \dots 22^\circ \text{C}$ ,  $t_{f(max)} = 50 \dots 52^\circ \text{C}$ ; 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.  $t_{f0i}$ ); это позволяет собрать на фильтре максимальную массу навески ТЧ и уменьшить отклонения  $\delta m_{fi}^f$  (см. формулу (9));

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

Оценка величины  $\delta PT$  и эффективности сделанных рекомендаций проводилась по алгоритму.

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

2. Определение для каждого режима разбавления ОГ инструментальной погрешности  $\delta PT_{in}$  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  $\delta PT_{if}$ ; 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:  $t_{dil} = 20...30$  °С,  $t_{f(max)} = 42...52$  °С; б) для режимов разбавления D2 и D4 – зависимости  $\delta PT_{if} = f(t_{dil}, \Delta t_{f(52)})$  с областью задания функции:  $t_{dil} = 20...30$  °С,  $\Delta t_{f(52)} = 0...20$  °С. Абсолютные отклонения величины  $\delta PT_{if}$ , 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  $\delta PT_{st}$  в области допустимых значений величин  $t_{st}$  и  $\tau_{st}$ .

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

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

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

6. Определение относительного вклада (в %) в результирующую погрешность  $\delta PT$  каждой ее составляющей –  $R_j$ :

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

7. Вычисление величины  $\delta PT$  и ее составляющих при выполнении сделанных рекомендаций.

### Результаты исследований и их анализ

В качестве исходных данных для проведения исследований использованы результаты испытаний дизеля I412/14 по циклу ESC. В соответствии с изложенной методикой определены: диапазоны варьирования результирующей погрешности  $\delta PT$  и ее составляющих (табл. 1, рис. 1, 2); относительный вклад каждой составляющей в погрешность  $\delta PT$ ; оценена эффективность сделанных рекомендаций (рис. 3).

Таблица 1. Результаты определения инструментальной погрешности  $\delta PT_{in}$

Выражение для вычисления погрешности	Значение погрешности, %			
	D1	D2	D3	D4
$\delta M_f = \Delta M_f / M_f$	4,1	2,8	3,4	2,4
$\delta M_{sam} = \delta M_{sami} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{13} WF_i^2}$	0,6	0,6	0,6	0,6
$\delta q_i = \sqrt{2} \cdot \delta G \cdot (q_i - 1)$	3,8	2,3	2,2	1,2
$\delta G_{edfi} = \sqrt{\delta q_i^2 + \delta G_{exhi}^2}$	4,6	3,6	3,3	2,8
$\delta \overline{G}_{edf} = \sqrt{\sum_{i=1}^{13} (WF_i \cdot k_{Gedfi}^e \cdot \delta G_{edfi})^2}$	1,4	1,1	1,3	1,1
$\delta PT_{mass} = \sqrt{\delta M_f^2 + \delta M_{sam}^2 + (\delta \overline{G}_{edf})^2}$	4,4	3,1	3,7	2,7
$\delta P_i = \sqrt{\delta n^2 + \delta M_k^2}$	3,6	3,6	3,6	3,6
$\delta \overline{P} = \delta P_i \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{13} (WF_i \cdot k_{P_i})^2}$	1,2	1,2	1,2	1,2
$\delta PT = \sqrt{\delta PT_{mass}^2 + (\delta \overline{P})^2}$	4,5	3,3	3,9	3,0

Анализ полученных результатов показывает:

- составляющие результирующей погрешности измерений показателя  $PT$  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 -  $\delta PT_{in} = \pm 3\%$ ,  $\delta PT_{if} = -0,5...1,2\%$ ,  $\delta PT_{st} = -0,5...0\%$ ;

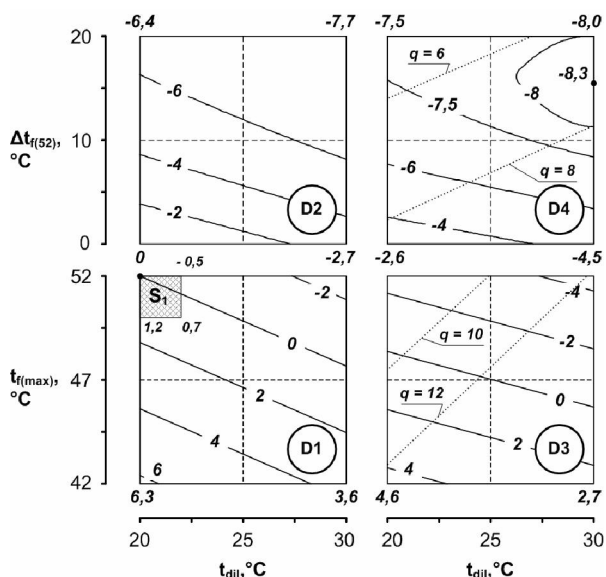


Рис. 1. Диапазоны варьирования погрешности  $\delta PT_{if}$ .  $S_1$  – область рекомендуемых значений  $t_{dil}$  и  $t_{f(max)}$

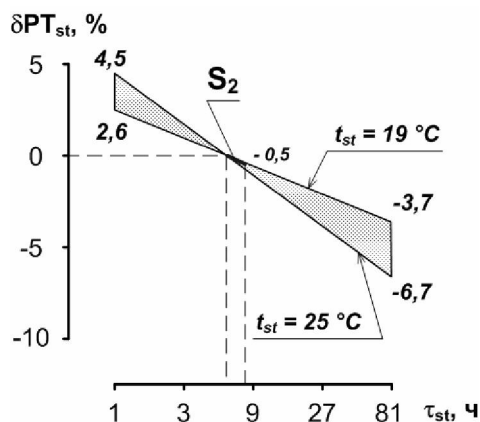


Рис. 2. Диапазон варьирования погрешности  $\delta PT_{st}$ .  $S_2$  – область рекомендуемых значений  $\tau_{st}$  и  $t_{st}$

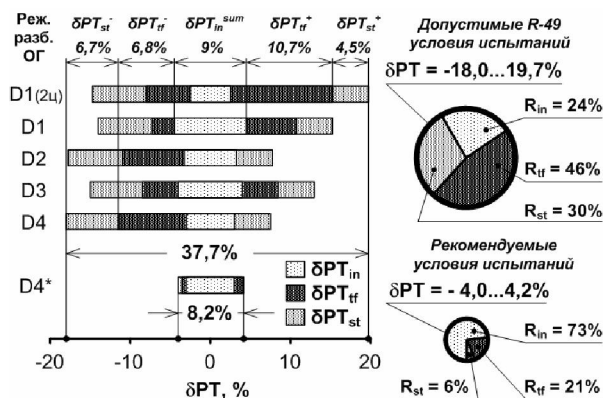


Рис. 3. Результаты исследований погрешности  $\delta PT$

- при использовании допустимых режимов разбавления ОГ результирующая погрешность  $\delta PT$  варьируется в диапазоне  $-18,0...19,7\%$ , ширина данного диапазона составляет  $37,7\%$ ; при этом наибольший вклад в  $\delta PT$  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  $PT$  - не смотря на то, что инструментальная погрешность при 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  $\delta PT_{if}$ ;

- в результате выполнения предложенных рекомендаций результирующая погрешность  $\delta PT$  снижается до  $-4,0...4,2\%$ , ширина диапазона варьирования данной величины ( $8,2\%$ ) уменьшается в  $4,6$  раза; при этом вклад инструментальной составляющей в  $\delta PT$  возрастает до  $73\%$ , а суммарный вклад методических составляющих снижается до  $27\%$ .

**Выводы**

1. Оценена результирующая погрешность измерения среднеэксплуатационного выброса ТЧ с ОГ автомобильного дизеля ( $\delta PT$ ) – 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  $PT$ , которые позволяют уменьшить погрешность  $\delta PT$  до  $-4,0...4,2\%$  (расхождение результатов  $8,2\%$ ), т.е. в  $4,6$  раза, при этом доля инструментальной составляющей данной величины возрастает до  $73\%$ , а суммарная доля методических составляющих уменьшается до  $27\%$ .

**Список литературы:**

1. Regulation No 49. Revision 5. Uniform provisions concerning the measures to be taken against the emission of gaseous and particulate pollutants from compression ignition 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. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды / А.С. Быстров, В.В. Варанкин, М.А. Виленский и др. - М.: «Экономика». -

1986. — 96 с. 3. Звонов В.А. Оценка и контроль выбросов дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей / В.А. Звонов, Г.С. Корнилов, А.В. Козлов, Е.А. Симонова. — М.: «Прима-Пресс-М», 2005. — 312 с. 4. Burtscher 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. Measurement of Diesel Exhaust Emissions with Mini-Dilution Tunnel / N. Hirakouchi, I. Fukano, T. Shoji // SAE Technical Paper Series. - 1989. - № 890181. - 11p. 6. Smart Sampler PC SPC 472. Operating Manual. Diesel particulate dilution and sampling equipment. AVL, Austria, 1993. — 69 p. 7. Johnson J. A Review of Diesel Particulates Control Technology and Emissions Effects / J. Johnson, S. Bagley, L. Gratz, D. Leddy // SAE Technical Paper Series. -1994. - № 940233. - 35 p. 8. Поливянчук А.П. Анализ влияния условий стабилизации рабочих фильтров на массу навески дизельных твердых частиц / А.П. Поливянчук // Двигатели внутреннего сгорания. — 2010. — №1. — С. 88-91. 9. Поливянчук А.П. Оценка неопределенности результатов измерений выбросов твердых частиц в ходе экологических испытаний дизелей / А.П. Поливянчук // Вісник СНУ ім. В. Даля. — 2012. - №5(176), Ч. 2. — С. 121-128. 10. Рафалес-Ламарка Э.Э. Инструкция пор планированию эксперимента / Рафалес-Ламарка Э.Э. // Укр. проектно-констр. и научно-исслед. ин-т «УкрНИИУглебогаше-ние». - 1969. — 126 с.

pollutants from compression ignition 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 Mar 2011. — 602 p. 2. Bystrov A.S. Vremennaya tipovaya meto-dika opredeleniya ekonomicheskoy effektivnosti osushhe-stvleniya prirodooxrannykh meropriyatij i ocenki ekonomicheskogo ushherba, prichinyaemogo narodnomu khozyajstvu zagryazneniem okruzhayushhej sredy / A.S. Bystrov, V.V. Varankin, M.A. Vilenskij i dr. // М.: «Экономика». - 1986. — 96 с. 3. Zvonov V.A. Ocenka i kontrol vybro-sov dispersnykh chastic s otrabotavshimi gazami dizelej / V.A. Zvonov, G.S. Kornilov, A.V. Kozlov, E.A. Simono-va. — М.: «Prima-Press-M», 2005. — 312 s. 4. Burtscher 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. Measurement of Diesel Exhaust Emissions with Mini-Dilution Tunnel / N. Hirakouchi, I. Fukano, T. Shoji // SAE Technical Paper Series. - 1989. - № 890181. - 11p. 6. Smart Sampler PC SPC 472. Operating Manual. Diesel particulate dilution and sampling equipment. AVL, Austria, 1993. — 69 p. 7. Johnson J. A Review of Diesel Particulates Control Technology and Emissions Effects / J. Johnson, S. Bagley, L. Gratz, D. Leddy // SAE Technical Paper Series. -1994. - № 940233. - 35 p. 8. Polivyanchuk A.P. Analiz vliyaniya uslovij stabilizacii rabochix filtrov na massu naveski dizelnykh tverdyx chastic / A.P. Polivyanchuk // Dvigateli vnutrennego sgoraniya, Kharkov. 2010. - №1. — С. 88-91. 9. Polivyanchuk A.P. Ocenka neopredelennosti rezul'tatov izmerenij vybrosov tverdyx chastic v xode ekologicheskix ispytaniy dizelej / A.P. Polivyanchuk // Visnik SNU im. V. Da-lya. — 2012, - №5(176), Ch. 2. — С. 121-128. 10. Rafales-Lamarka E.E. // Ukr. projektno-konstr. i nauchno- issled. in-t «UkrNIUgleobogashhe-nie». - 1969. — 126 s.

**Bibliography (transliterated):**

1. Regulation No 49. Revision 5. Uniform provisions concerning the measures to be taken against the emission of gaseous and particulate

Поступила в редакцию 25.06.2013

**Поливянчук Андрей Павлович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры экологии, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Луганск, Украина, [uni@snu.edu.ua](mailto:uni@snu.edu.ua), (0642) 34-18-36.

**Львов Сергей Александрович** – старший преподаватель кафедры автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Луганск, Украина, [uni@snu.edu.ua](mailto:uni@snu.edu.ua), (0642) 34-18-36.

**ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ГРАВИМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАНЬ ВИКИДІВ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК З ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ ДИЗЕЛЯ**

**А.П. Поливянчук, С.О. Львов**

Досліджено результуючу похибку вимірювань одного з основних екологічних показників дизеля – середньоексплуатаційного викиду твердих частинок з відпрацьованими газами (δРТ). Створено математичну модель даної похибки. Запропоновані заходи з її зменшення. На основі результатів випробувань автотракторного дизеля 4ЧН12/14 оцінено інструментальну та методичні складові похибки δРТ, ефективність запропонованих заходів.

**INCREASING THE ACCURACY OF THE MEASUREMENT OF PARTICULATE METTER EMISSIONS IN THE DIESEL'S EXHAUST GAS**

**A.P. Polivyanchuk, S.A. Lvov**

The resulting error in measurement of one of the main environmental indicators for diesels – average emission of particulate matters in the exhaust gases (δPT) was investigated. The mathematical model of this error was created. Instrumental and methodological errors of δPT components was evaluated based on the results of tests of tractor diesel 4CH12/14. The effectiveness of proposed measures was also evaluated.