

ТЭД19,4-0 мощность уменьшилась на 16,3 %, а при работе на ТЭД31,2-0 – на 28,4 %.

Если учитывать расход только ДТ (без учета воды и эмульгатора), то можно отметить увеличение мощности дизеля на 5...7 %.

#### Выводы

1. Расход ДТ в ТЭД уменьшается по мере роста содержания воды в ТЭД, что обеспечивает увеличение эффективного КПД дизеля при его работе на ТЭД. При одинаковых расходах ДТ мощность дизеля при работе на ТЭД возрастает на 5...7 %.

2. Наиболее значительное снижение расхода ДТ в ТЭД отмечается при 15-25% содержании воды.

3. Для обеспечения заданной мощности при работе дизеля на ТЭД в сравнении с ДТ необходимо увеличивать расход топлива.

4. Дополнительная диспергация позволяет уменьшить расход ДТ в ТЭД.

С учетом экологической эффективности и снижения расхода потребляемого ДТ целесообразно проведение испытаний ТЭД в условиях эксплуатации на городском автомобильном транспорте

УДК 629.4.018

*А.П. Поливянчук, канд. техн. наук*

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО И КОМПЕНСАЦИОННОГО СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ МАССОВОГО РАСХОДА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ В МИКРОТУННЕЛЕ

#### Введение

Для измерения одного из основных нормируемых экологических показателей дизелей – массового выброса твердых частиц (ТЧ) с отработавшими газами (ОГ) используется микротуннель (МКТ). Это сложное, дорогое оборудование, состоящее из отдельных функциональных узлов [1]. Одним из наиболее дорогостоящих узлов современных МКТ является измеритель массового расхода ОГ, поступающих в МКТ – параметра  $G_{ог}^T$ . Особенность данного узла состоит в том, что величина  $G_{ог}^T$  измеряется косвенным путем (прямое измерение не может быть выполнено по причине высоких температур, загрязненности и химической агрессивности потока ОГ). Сегодня в измерителях  $G_{ог}^T$  наиболее часто используется дифференциальный способ определения данной величины, особенностью которого является применение дорогих высокоточных измерителей газового потока [2]. В ходе выполнения научной темы ДН-64-08 сотрудниками кафедры экологии СНУ им. В. Даля предложен альтернативный – компенсационный способ измерения  $G_{ог}^T$ , который предусматривает использование менее точного и более дешевого измерительного оборудования. В данной работе оценена эффективность предложенного способа по критерию точности применяемого оборудования.

#### Постановка задачи

Целью исследований являлось сравнение дифференциального и компенсационного способов измерения  $G_{ог}^T$  по критерию точности используемого измерительного оборудования, определяющей его стоимость. Для достижения данной цели решены следующие задачи: 1) изучение условий измерения массового расхода  $G_{ог}^T$  в МКТ; 2) анализ дифференциального и компенсационного способов измерения  $G_{ог}^T$ ; 3) разработка методики определения допустимых погрешностей расходомеров в измерителях  $G_{ог}^T$ ; 4) сравнение обоих способов измерения  $G_{ог}^T$  по критерию точности применяемого оборудования и анализ полученных результатов.

#### Изучение условий измерения массового расхода $G_{ог}^T$ в МКТ

Контроль величины  $G_{ог}^T$  в МКТ является одним из элементов процесса определения экологического параметра – массового выброса ТЧ с ОГ дизеля -  $PT_m$  (рис. 1):

$$PT_m = \left( \left( \frac{P_f}{(G_{пр} \cdot \tau_{sam})_a} \right)_b \cdot q \right)_c \cdot G_{ог}, \quad (1)$$

где  $P_f$  – масса ТЧ, собранная на фильтрах, мг;  $G_{пр}$  – массовый расход ОГ, разбавленных воздухом в МКТ, г/ч;  $\tau_{sam}$  – продолжительность прохождения пробы разбавленных ОГ через патрон с фильтрами, ч;  $q$  – коэффициент разбавления ОГ;  $G_{ог}$  – массовый расход ОГ в выхлопной трубе дизеля, кг/ч.

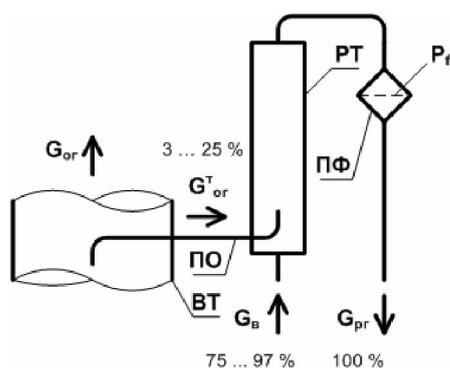


Рис. 1. Принципиальная схема МКТ:

BT – выхлопная труба дизеля; ПО – пробоотборник ОГ; PT – разбавляющий туннель; ПФ – патрон с фильтрами для отбора ТЧ

В данной формуле величины, заключенные в круглых скобках – это: а) масса пробы разбавленных ОГ, прошедшая через фильтры, г; б) массовая концентрация ТЧ в разбавленных ОГ, мг/г; в) массовая концентрация ТЧ в неразбавленных ОГ, мг/г.

Коэффициент разбавления  $q$  определяется как отношение массовых расходов  $G_{pr}$  и  $G_{og}^T$ , причем последняя величина определяется косвенным путем по причинам, указанным выше:

$$q = \frac{G_{pr}}{G_{og}^T} \quad (2)$$

При использовании дифференциального способа величина  $q$  определяется по формуле:

$$q = \frac{G_{pr}}{G_{pr} - G_6} \quad (3)$$

где  $G_6$  – массовый расход разбавляющего воздуха.

При использовании компенсационного способа используется следующая формула для вычисления  $q$ :

$$q = \frac{G_k + G_6}{G_k} \quad (4)$$

где  $G_k = G_{og}^T$  – массовый расход воздуха, компенсирующего количество ОГ, поступающих в МКТ; назначение данной величины указано ниже.

Основным требованием, предъявляемым к измерителям  $G_{og}^T$ , является обеспечение требуемой точности определения коэффициента  $q$  - погрешность измерения данной величины не должна превышать допустимого значения –  $\delta q_{доп}$ .

#### Анализ дифференциального и компенсационного способов измерения $G_{og}^T$

Принципиальные схемы рассматриваемых способов измерения  $G_{og}^T$  приведены на рис. 2.

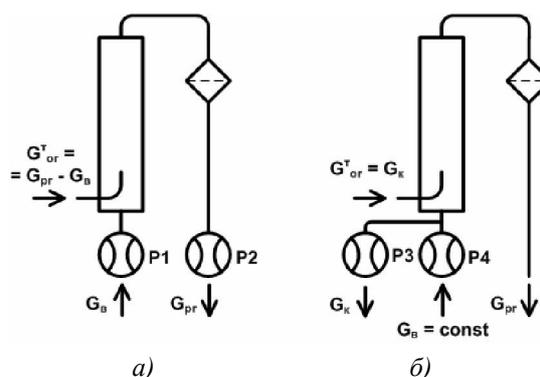


Рис. 2. Принципиальные схемы способов измерения  $G_{og}^T$ :

а) дифференциального; б) компенсационного

В дифференциальном способе величина  $G_{og}^T$  определяется, как разность двух массовых расходов: разбавленных ОГ ( $G_{pr}$ ) и воздуха ( $G_6$ ), которые измеряются расходомерами P1 и P2. При этом малая величина  $G_{og}^T$  (3...25% от суммарного потока  $G_{pr}$ ) вычисляется, как разность 2-х больших величин -  $G_{pr}$  (100%) и  $G_6$  (75...97%), для измерения которых необходимы расходомеры повышенной точности.

В компенсационном способе величина  $G_{og}^T$  равна массовому расходу компенсационного воздуха  $G_k$  (измеряется расходомером P3) при условии постоянства массового расхода воздуха  $G_6$  (измеряется расходомером P4), которое обеспечивается соответствующими регулирующими устройствами. При реализации данного способа не требуется высокоточных дорогостоящих расходомеров.

#### Методика определения допустимых погрешностей расходомеров в измерителях $G_{og}^T$

Данная методика позволяет оценить допустимые погрешности расходомеров, применяемых в дифференциальном и компенсационном способах измерения  $G_{og}^T$ , при которых обеспечивается требуемая точность определения коэффициента  $q$ . При этом используется допущение о том, что в каждом способе применяются расходомеры одного класса точности, т.е.:

$$\delta P_d = \delta P_1 = \delta P_2; \quad \delta P_k = \delta P_3 = \delta P_4,$$

где  $\delta P_d$  – погрешность расходомера дифференциального способа,  $\delta P_1, \delta P_2, \delta P_3, \delta P_4$  – погрешности расходомеров P1 – P4;  $\delta P_k$  – погрешность расходомера компенсационного способа.

В основе методики лежит формула определения относительной погрешности измерения величины, определяемой косвенным путем [3]:

$$\delta y = \frac{\Delta y}{y} = \frac{\sqrt{((\partial y / \partial x_1) \cdot \Delta x_1)^2 + \dots + ((\partial y / \partial x_n) \cdot \Delta x_n)^2}}{y} \quad (5)$$

где  $y$  – величина, зависящая от величин  $x_1, x_2, \dots, x_n$  и определяемая косвенным путем с помощью известного выражения -  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ;  $\delta y$  и  $\Delta y$  – относительная и абсолютная погрешности измерения величины  $y$ ;  $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$  - абсолютные погрешности измерения величин  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

Применяя формулу (5) к выражениям (2) и (3) получим систему уравнений, в результате решения которой определяется погрешность  $\delta P_d$ :

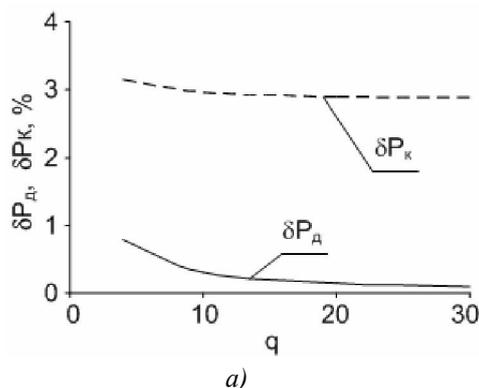
$$\delta q^2 = (\delta G_{pr})^2 + (\delta G_{or}^T)^2$$

$$(\delta G_{or}^T)^2 = (\delta G_{pr} \cdot q)^2 + (\delta G_{\epsilon}(q-1))^2.$$

Решая данную систему с учетом сделанного допущения -  $\delta P_d = \delta G_{pr} = \delta G_{\epsilon}$ , получим:

$$\delta P_d = \frac{\delta q}{\sqrt{1+q^2+(q-1)^2}}. \quad (6)$$

Применяя формулу (5) к выражениям (2) и (4) получим систему уравнений, в результате решения которой определяется погрешность  $\delta P_k$ :



$$\delta q^2 = (\delta G_{pr})^2 + (\delta G_{or}^T)^2 = (\delta G_{pr})^2 + (\delta G_{\epsilon})^2$$

$$(\delta G_{pr})^2 = \left( \delta G_{\epsilon} \cdot \frac{q-1}{q} \right)^2 + \left( \delta G_{\epsilon} \frac{1}{q} \right)^2.$$

Решая данную систему с учетом сделанного допущения -  $\delta P_k = \delta G_{\epsilon} = \delta G_{\epsilon}$ , получим:

$$\delta P_k = \frac{\delta q}{\sqrt{1 + \left( \frac{q-1}{q} \right)^2 + \left( \frac{1}{q} \right)^2}}. \quad (7)$$

Формулы (6) и (7) позволяют оценить точность расходомеров, применяемых при использовании рассматриваемых способов измерения величины  $G_{or}^T$ .

### Результаты сравнения дифференциального и компенсационного способов измерения $G_{or}^T$

С помощью выражений (6) и (7) определены допустимые погрешности расходомеров P1-P2 и P3-P4. При вычислениях учитывались реальные значения коэффициента разбавления ОГ в МКТ -  $q = 4 \dots 30$ , а также требования нормативных документов к точности измерения данной величины -  $\delta q_{доп} = 4\%$  [1]. Результаты вычислений показывают (рис. 3).

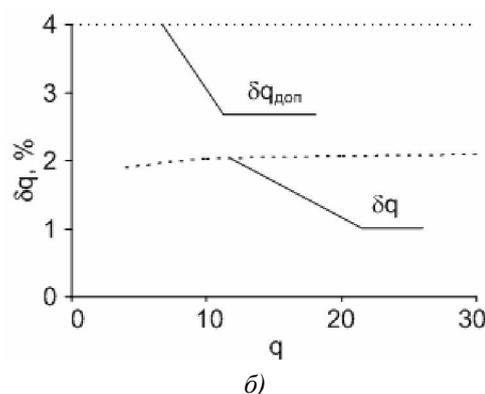


Рис. 3. Результаты исследований: а) допустимых погрешностей  $\delta P_d$  и  $\delta P_k$ ; б) точности определения коэффициента  $q$ , обеспечиваемой компенсационным способом при  $\delta P_k = 1,5\%$

а) требуемая точность измерения коэффициента  $q$  обеспечивается расходомерами, допустимые погрешности которых составляют: при реализации дифференциального способа – не менее 0,1% (минимальное значение  $\delta P_d$  при  $q = 30$ ); при реализации компенсационного способа – не менее 2,9% (минимальное значение  $\delta P_k$  при  $q = 30$ ), т.е. в 29 больше (рис. 3,а);

б) использование в качестве расходомеров компенсационного способа стандартных сужающих устройств (нормальных сопел) с погрешно-

стями  $\delta P_k = 1,5\%$  [4] позволяет измерять коэффициент  $q$  с неточностями в 2 раза меньшими допустимой величины  $\delta q_{доп}$  (рис. 3,б).

### Вывод

Использование в измерителе массового расхода ОГ в МКТ предлагаемого компенсационного способа вместо распространенного дифференциального позволяет в 29 раз снизить требования к точности расходомеров данного узла (допустимые погрешности расходомеров возрастают с 0,1% до 2,9%) и уменьшить стоимость оборудования. При-

менение при реализации компенсационного способа стандартных сужающих устройств с погрешностями измерений массового расхода, равными 1,5%, позволяет определять коэффициент разбавления ОГ –  $q$  с точностью в 2 раза превышающей допустимую.

**Список литературы:**

1. ISO 8178. Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part 1: Test – bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions, 1996. – 94 p. 2. Smart Sampler PC SPC 472. Operating Manual. Diesel particulate dilution and sampling equipment. AVL, Austria, 1993. – 69 p. 3. Izmerenija v promyshlennosti. Sprav. izd. v 3-h kn. Kn. 1. Teoreticheskie osnovy. Per. s

*nem./ Pod red. Profosa P. - 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Metallurgija, 1990. 492 s. 4. Kremlevskij P.P. Rashodometry i schetchiki ko-lichestva: Spravochnik – 4-e izd. pererab. i dop. – L.: Mashinostroenie, Leningr. Otdelenie, 1989. – 701 s.*

**Bibliography (transliterated):**

1. ISO 8178. Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part 1: Test – bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions, 1996. – 94 p. 2. Smart Sampler PC SPC 472. Operating Manual. Diesel particulate dilution and sampling equipment. AVL, Austria, 1993. – 69 p. 3. Измерения в промышленности. Справ. изд. в 3-х кн. Кн. 1. Теоретические основы. Пер. с нем./ Под ред. Профоса П. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. 492 с. 4. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества: Справочник – 4-е изд. перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. Отделение, 1989. – 701 с.