

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА ВИНАХІД

№ 106950

**КАЛОРИМЕТРИЧНИЙ ВИТРАТОМІР МОТОРНОГО ПАЛИВА
З ПІДВИЩЕНОЮ ТОЧНІСТЮ ВИМІРІВ**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи
27.10.2014.

Заступник Голови Державної служби
інтелектуальної власності України

Л.В. Висоцька



(21) Номер заявки: а 2013 13387

(22) Дата подання заявки: 18.11.2013

(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 27.10.2014

(41) Дата публікації відомостей про заявку та номер бюлетеня: 10.07.2014, Бюл.№ 13

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 27.10.2014, Бюл. № 20

(72) Винахідники:
Безвесільна Олена
Миколаївна, UA,
Ільченко Андрій
Володимирович, UA,
Тростенюк Юрій
Валерійович, UA(73) Власник:
ЖИТОМИРСЬКИЙ
ДЕРЖАВНИЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Черняхівського, 103, м.
Житомир, 10005, UA

(54) Назва винаходу:

КАЛОРИМЕТРИЧНИЙ ВИТРАТОМІР МОТОРНОГО ПАЛИВА З ПІДВИЩЕНОЮ ТОЧНІСТЮ ВИМІРІВ

(57) Формула винаходу:

Калориметричний витратомір моторного палива з підвищеною точністю вимірів, що містить послідовно з'єднані блок (14) логарифмування, блок (15) лінійної апроксимації та блок (16) обчислення витрат палива, трубку (1) з прямим потоком палива, в якій розміщений нагрівач (5) прямого потоку палива, по різні боки якого розташовані дві групи (7, 8) термоперетворювачів прямого потоку палива, в кожній з яких термоперетворювачі прямого потоку палива розташовані послідовно на заданих відстанях від нагрівача (5) прямого потоку палива, поза зоною дії якого розміщений термоперетворювач (11) прямого потоку палива, який відрізняється тим, що додатково введені блок (13) віднімання та трубка (2) зі зворотним потоком палива, в якій розміщений нагрівач (6) зворотного потоку палива, по різні боки якого розташовані дві групи (9, 10) термоперетворювачів зворотного потоку палива, в кожній з яких термоперетворювачі зворотного потоку палива розташовані послідовно на заданих відстанях від нагрівача (6) зворотного потоку палива, поза зоною дії якого розміщений термоперетворювач (12) зворотного потоку палива, а виходи термоперетворювача (11) прямого потоку палива та термоперетворювача (12) зворотного потоку палива, а також однойменні виходи груп (7, 8) термоперетворювачів прямого потоку палива та груп (9, 10) термоперетворювачів зворотного потоку палива підключені попарно до входів блока (13) віднімання, вихід якого з'єднаний із входом блока (14) логарифмування.



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **106950** (13) **C2**
(51) МПК (2014.01)
F02M 5/00
G01F 1/68 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

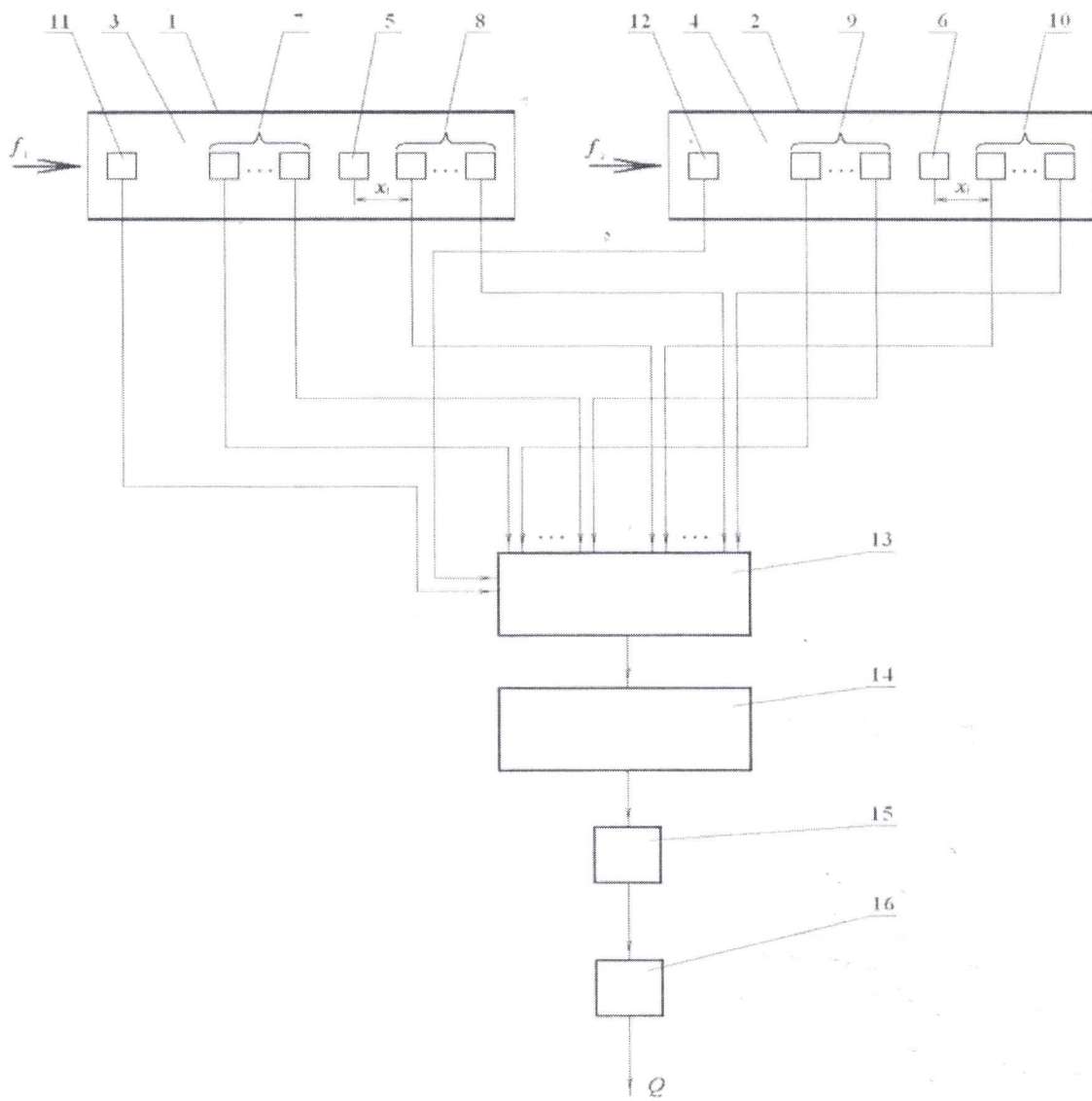
<p>(21) Номер заявки: а 2013 13387</p> <p>(22) Дата подання заявки: 18.11.2013</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 27.10.2014</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 10.07.2014, Бюл.№ 13</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 27.10.2014, Бюл.№ 20</p>	<p>(72) Винахідник(и): Безвесільна Олена Миколаївна (UA), Ільченко Андрій Володимирович (UA), Тростенюк Юрій Валерійович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Черняхівського, 103, м. Житомир, 10005 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 90985 C2, 10.06.2010 UA 91160 C2, 25.06.2010 SU 556329 A1, 30.04.1977 US 2013255364 A1, 03.10.2013 US 6301958 B1, 16.10.2001 US 5205161 A, 27.04.1993 DE 102011018651 B3, 05.01.2012</p>
---	---

(54) КАЛОРИМЕТРИЧНИЙ ВИТРАТОМІР МОТОРНОГО ПАЛИВА З ПІДВИЩЕНОЮ ТОЧНІСТЮ ВИМІРІВ

(57) Реферат:

Калориметричний витратомір моторного палива з підвищеною точністю вимірів належить до вимірювальної техніки. Витратомір містить трубку з прямим потоком палива, трубку зі зворотним потоком палива та послідовно з'єднані блок віднімання, блок логарифмування, блок лінійної апроксимації та блок обчислення витрат палива. В трубці з прямим потоком палива розміщений нагрівач прямого потоку палива. По різні боки від нагрівача прямого потоку палива розташовані дві групи термоперетворювачів прямого потоку палива. В кожній з них термоперетворювачі прямого потоку палива розташовані послідовно на заданих відстанях від нагрівача прямого потоку палива. Поза зоною дії нагрівача прямого потоку палива розміщений термоперетворювач прямого потоку палива. В трубці зі зворотним потоком палива розміщений нагрівач зворотного потоку палива. По різні боки від нагрівача зворотного потоку палива розташовані дві групи термоперетворювачів зворотного потоку палива. В кожній з них термоперетворювачі зворотного потоку палива розташовані послідовно на заданих відстанях від нагрівача зворотного потоку палива. Поза зоною дії нагрівача зворотного потоку палива розміщений термоперетворювач зворотного потоку палива. Виходи термоперетворювача прямого потоку палива та термоперетворювача зворотного потоку палива, а також однойменні виходи груп термоперетворювачів прямого потоку палива та груп термоперетворювачів зворотного потоку палива підключені попарно до входів блока віднімання. Вихід блока обчислення витрат палива є виходом всього пристрою. Технічним результатом є вимірювання витрат палива двигунів з системами зворотного зливання палива в бак (лініями повертання палива) та підвищення точності вимірювання витрат моторного палива.

UA 106950 C2



Винахід належить до галузі вимірювальної техніки і може бути використаний для вимірювання і контролю витрат моторного палива.

Вимірювання і контроль витрат моторного палива є обов'язковою складовою сучасних технологій енергозбереження. Такі випробування мають місце під час розробки, експлуатації, встановлення та обґрунтування норм витрат палива засобів транспорту, що мають двигун внутрішнього згоряння. Впровадження технологій енергозбереження висуває специфічні вимоги до витратомірів, вимагає підвищення точності та зменшення похибок вимірювань.

Найбільш близьким за суттєвими ознаками до винаходу є відомий калориметричний витратомір моторного палива з цифровою обробкою вимірювальної інформації [1], що вибраний як прототип.

Пристрій-прототип, як і пристрій-винахід, містить послідовно з'єднані блок логарифмування, блок лінійної апроксимації та блок обчислення витрат палива, трубку з прямим потоком палива, в якій розміщений нагрівач прямого потоку палива, по різні боки якого розташовані дві групи термоперетворювачів прямого потоку палива, в кожній з яких термоперетворювачі прямого потоку палива розташовані послідовно на заданих відстанях від нагрівача прямого потоку палива, поза зоною дії якого розміщений термоперетворювач прямого потоку палива.

Проте на відміну від пристрою-винаходу, пристрій-прототип містить три послідовно з'єднані блоки - блок логарифмування, блок лінійної апроксимації та блок обчислення витрат палива та лише одну трубку з прямим потоком палива, в якій розміщений нагрівач прямого потоку палива, по різні боки якого розташовані дві групи термоперетворювачів прямого потоку палива, в кожній з яких термоперетворювачі прямого потоку палива розташовані послідовно на заданих відстанях від нагрівача прямого потоку палива, поза зоною дії якого розміщений термоперетворювач прямого потоку палива.

Така конструкція витратоміра-прототипу не дозволяє вимірювати витрати палива двигунів з системами зворотного зливання палива в бак (лініями повертання палива), наприклад, дизелів, інжекторних двигунів [2, с.12; 3, с.12; 4].

Крім того, у потоці палива завжди спостерігаються нерівномірності швидкостей, а, внаслідок цього, і температур, що підвищуються нагрівачем прямого потоку палива. Особливо це стосується дизельного моторного палива з домішками олій рослинного походження, що мають іншу відносно дизельного палива теплопровідність, підвищену густину та в'язкість. Все це зумовлює наявність температурної похибки та похибок сили тяжіння, струмопідведення і в'язкого тертя. А відсутність засобів компенсації похибок при цьому призводить до значної загальної похибки вимірювання витрат палива витратоміром-прототипом.

Таким чином, витратомір-прототип не може бути застосований для вимірювання витрат палива з системами зворотного зливання палива в бак (лініями повертання палива) та має низьку точність вимірювання, особливо витрат палива з альтернативної сировини.

В основу винаходу поставлено задачу удосконалення калориметричного витратоміра моторного палива з цифровою обробкою вимірювальної інформації, що містить послідовно з'єднані блок логарифмування, блок лінійної апроксимації та блок обчислення витрат палива, трубку з прямим потоком палива, в якій розміщений нагрівач прямого потоку палива, по різні боки якого розташовані дві групи термоперетворювачів прямого потоку палива, в кожній з яких термоперетворювачі прямого потоку палива розташовані послідовно на заданих відстанях від нагрівача прямого потоку палива, поза зоною дії якого розміщений термоперетворювач прямого потоку палива, шляхом того, що додатково введені блок віднімання та трубка зі зворотним потоком палива, в якій розміщений нагрівач зворотного потоку палива, по різні боки якого розташовані дві групи термоперетворювачів зворотного потоку палива, в кожній з яких термоперетворювачі зворотного потоку палива розташовані послідовно на заданих відстанях від нагрівача зворотного потоку палива, поза зоною дії якого розміщений термоперетворювач зворотного потоку палива, а виходи термоперетворювача прямого потоку палива та термоперетворювача зворотного потоку палива, а також однойменні виходи груп термоперетворювачів прямого потоку палива та груп термоперетворювачів зворотного потоку палива підключені попарно до входів блока віднімання, вихід якого з'єднаний із входом блока логарифмування, щоб забезпечити можливість вимірювання витрат палива двигунів з системами зворотного зливання палива в бак (лініями повертання палива) та підвищити точність вимірювання витрат моторного палива.

Завдяки введенню блока віднімання та трубки зі зворотним потоком палива, в якій розміщені елементи ідентичні елементам, що знаходяться у паливі трубки з прямим потоком палива, з таким самим їх взаємним розташуванням, забезпечується можливість вимірювання витрат палива двигунів з системами зворотного зливання палива в бак (лініями повертання палива). Це також дає змогу компенсувати температурну похибку, похибки сили тяжіння,

струмопідведення та в'язкого тертя, що підвищує точність вимірювання витрат моторного палива витратоміром-винаходом.

Таким чином, у пристрої-винаході забезпечується можливість вимірювання витрат палива з системами зворотного зливання палива в бак (лініями повертання палива) та підвищення точності вимірювання витрат палива.

Суть винаходу пояснюється кресленням, де зображена структурна схема витратоміра-винаходу.

Витратомір-винахід містить блок 13 віднімання, блок 14 логарифмування, блок 15 лінійної апроксимації, блок 16 обчислення витрат палива, трубку 1 з прямим потоком палива та трубку 2 зі зворотним потоком палива.

У трубці 1 з прямим потоком палива розміщений нагрівач 5 прямого потоку палива, по різні боки якого розташовані дві групи 7, 8 термоперетворювачів прямого потоку палива, в кожній з яких термоперетворювачі прямого потоку палива розташовані послідовно на заданих відстанях

x_i від нагрівача 5 прямого потоку палива, поза зоною дії якого розміщений термоперетворювач 11 прямого потоку палива. При цьому $i=1, \dots, N_1+N_2$, де N_1, N_2 - кількість термоперетворювачів прямого потоку палива в групах 7, 8 термоперетворювачів прямого потоку палива відповідно.

У трубці 2 зі зворотним потоком палива розміщений нагрівач 6 зворотного потоку палива, по різні боки якого розташовані дві групи 9, 10 термоперетворювачів зворотного потоку палива, в кожній з яких термоперетворювачі зворотного потоку палива розташовані послідовно на

заданих відстанях x_i від нагрівача 6 зворотного потоку палива, поза зоною дії якого розміщений термоперетворювач 12 зворотного потоку палива. При цьому $i=1, \dots, N_1+N_2$, де N_1, N_2 - кількість термоперетворювачів зворотного потоку палива в групах 9, 10 термоперетворювачів зворотного потоку палива відповідно, що дорівнює кількості термоперетворювачів прямого потоку палива у групах 7, 8 термоперетворювачів прямого потоку палива відповідно.

Виходи термоперетворювача 11 прямого потоку палива та термоперетворювача 12 зворотного потоку палива, а також однойменні виходи груп 7, 8 термоперетворювачів прямого потоку палива та груп термоперетворювачів 9, 10 зворотного потоку палива підключені попарно до входів блока 13 віднімання. Вихід блока 13 віднімання підключений до входу блока 14 логарифмування, вихід якого підключений до входу блока 15 лінійної апроксимації, вихід якого підключений до входу блока 16 обчислення витрат палива, вихід якого є виходом всього пристрою.

Калориметричний витратомір моторного палива з підвищеною точністю вимірів працює таким чином.

Прямий потік 3 палива, витрати f_1 якого потрібно виміряти, протікає по трубці 1 з прямим потоком палива повз термоперетворювач 11 прямого потоку палива, нагрівач 5 прямого потоку палива та дві групи 7, 8 термоперетворювачів прямого потоку палива.

Зворотний потік 4 палива, витрати f_2 якого теж необхідно виміряти, протікає по трубці 2 зі зворотним потоком палива повз термоперетворювач 12 зворотного потоку палива, нагрівач 6 зворотного потоку палива та дві групи 9, 10 термоперетворювачів зворотного потоку палива.

Нагрівач 5 прямого потоку палива та нагрівач 6 зворотного потоку палива за рахунок електричної енергії від джерела живлення (на схемі не показано) підігрівають прямий 3 та зворотний 4 потоки палива та створюють в них температурне поле. Значення температур у прямому 3 та зворотному 4 потоках палива залежать від витрат палива f_1 та f_2 (швидкостей потоків), відстаней від нагрівача 5 прямого потоку палива до кожного з термоперетворювачів прямого потоку палива у групах 7, 8 термоперетворювачів прямого потоку палива, відстаней від нагрівача 6 зворотного потоку палива до кожного з термоперетворювачів зворотного потоку палива у групах 9, 10 термоперетворювачів зворотного потоку палива та збільшуються (перед нагрівачем 5 прямого потоку палива та нагрівачем 6 зворотного потоку палива) або зменшуються (після нагрівача 5 прямого потоку палива та нагрівача 6 зворотного потоку палива) за експоненціальним законом. При цьому за температурами палива, що створюються нагрівачем 5 прямого потоку палива та нагрівачем 6 зворотного потоку палива і фіксуються групами 7, 8 термоперетворювачів прямого потоку палива та групами 9, 10 зворотного потоку палива, розташованими по різні боки від нагрівача 5 прямого потоку палива та нагрівача 6 зворотного потоку палива, можна визначити витрати палива у прямому 3 та зворотному 4 потоках палива [5, с. 329].

Результати вимірювання температур палива в зонах дії нагрівача 5 прямого потоку палива та нагрівача 6 зворотного потоку палива з виходів термоперетворювача 11 прямого потоку

палива та термоперетворювача 12 зворотного потоку палива, а також однойменних виходів груп 7, 8 термоперетворювачів прямого потоку палива та груп 9, 10 термоперетворювачів зворотного потоку палива надходять попарно на вхід блока 13 віднімання, де обчислюється різниця температур між вказаними термоперетворювачами для прямого 3 та зворотного 4 потоків палива.

Вимірне значення витрат палива за наявності похибок у прямому потоці 3 палива (паливо, що відбирається з баку) дорівнює:

$$f_1 = Q_1 + \Delta T_1 + \Delta_{CT_1} + \Delta_{CP_1} + \Delta_{BT_1}, \quad (1)$$

де: Q_1 - істинне значення витрат палива у прямому потоці 3 палива;

ΔT_1 , Δ_{CT_1} , Δ_{CP_1} , Δ_{BT_1} - температурна похибка та похибки сили тяжіння, струмопідведення, сили в'язкого тертя у прямому потоці 3 палива відповідно.

Вимірне значення витрат палива за наявності похибок у зворотному потоці 4 палива (паливо, що повертається до баку) дорівнює:

$$f_2 = Q_2 + \Delta T_2 + \Delta_{CT_2} + \Delta_{CP_2} + \Delta_{BT_2} \quad (2)$$

де: Q_2 - істинне значення витрат палива у зворотному потоці 4 палива;

ΔT_2 , Δ_{CT_2} , Δ_{CP_2} , Δ_{BT_2} - температурна похибка та похибки сили тяжіння, струмопідведення, сили в'язкого тертя у зворотному потоці 4 палива відповідно.

Оскільки витрата палива, що надходить у двигун внутрішнього згорання, - це різниця між (1) та (2), то сумарна похибка (що включає температурну похибку та похибки сили тяжіння, струмопідведення, в'язкого тертя) під час роботи двигуна завжди зменшується. При цьому витрата палива у прямому потоці 3 палива завжди більша, ніж у зворотному потоці 4 палива (двигун споживає потрібну кількість палива, а зайве паливо повертається до баку), або дорівнює їй (двигун не працює, все паливо повертається до баку).

Витрата палива безпосередньо двигуном складає:

$$Q = f_1 - f_2 = Q_1 - Q_2 + \Delta T_1 - \Delta T_2 + \Delta_{CT_1} - \Delta_{CT_2} +$$

$$+ \Delta_{CP_1} - \Delta_{CP_2} + \Delta_{BT_1} - \Delta_{BT_2} \quad (3)$$

Як видно з (3), маємо зменшення температурної похибки, похибок сили тяжіння, струмопідведення та сили в'язкого тертя. Отже, маємо і зменшення сумарної похибки вимірювання витрати палива.

Далі результати обчисленої різниці температур відповідних термоперетворювачів прямого 3 та зворотного 4 потоків палива надходять на вхід блока 14 логарифмування, де визначається залежність $T(x)$ температури у заданій точці потоку палива від відстані x цієї точки до нагрівача 5 прямого потоку палива в трубі 1 прямого потоку палива та нагрівача 6 зворотного потоку палива в трубі 2 зворотного потоку палива.

З блока 14 логарифмування дані надходять на вхід блока 15 лінійної апроксимації. Блок 15 лінійної апроксимації проводить апроксимацію залежності $T(x)$, що надана блоком 14 логарифмування. Блок 16 обчислення витрат палива визначає поточні значення швидкості потоку палива та, відповідно, його витрат з урахуванням конструктивних даних, наприклад, перерізів трубки 1 з прямим потоком палива та трубки 2 зі зворотним потоком палива. Значення об'ємної та масової витрат палива отримують за відомими формулами [5, с. 239; 6, с.245-247].

Для перевірки працездатності пристрою-винаходу було створено та досліджено його діючий макет. В якості трубки 1 з прямим потоком палива та трубки 2 зі зворотним потоком палива було використано металеві трубки діаметром 20 мм та довжиною 400 мм. Як джерело живлення використовували блок живлення постійного струму Б5-47 з вихідною напругою 12 В. Нагрівач 5 прямого потоку палива та нагрівач 6 зворотного потоку палива були виготовлені з дроту високого електричного опору (ніхром - Х20Н80) у вигляді циліндричних котушок. У макетному зразку біло використано по сім термоперетворювачів прямого потоку палива у кожній з груп 7, 8 термоперетворювачів прямого потоку палива та по сім термоперетворювачів зворотного потоку палива у кожній з груп 9, 10 термоперетворювачів зворотного потоку палива. Як всі термоперетворювачі застосовували транзистори КТ342, в яких змінюється струм колектора під час зміни температури у прямому 3 та зворотному 4 потоках палива.

Відстань від нагрівача 5 прямого потоку палива до першого термоперетворювача прямого потоку палива в групах 7, 8 термоперетворювачів прямого потоку дорівнювала 3 см, до останнього - 8 см. Також і відстань від нагрівача 6 зворотного потоку палива до першого термоперетворювача зворотного потоку палива в групах 9, 10 термоперетворювачів зворотного потоку теж дорівнювала 3 см, до останнього - 8 см.

Характеристики витратоміру-винаходу досліджувалися на діючому макеті для діапазону витрат палива двигуна внутрішнього згоряння, що працює на різних швидкісних та навантажувальних режимах. Для досліджень використовувалося дизельне моторне паливо згідно ДСТУ 3868-99 "Паливо дизельне. Технічні умови".

5 Для порівняння витратоміра-винаходу з витратоміром-прототипом спочатку вимірювали витрати палива трубкою 1 прямого потоку палива. Кількість палива, що надходило до баку через систему зворотного зливання палива в бак (лінію повертання палива), визначали об'ємним способом за допомогою мірної колби.

10 Потім використовували дві трубки: трубку 1 прямого потоку палива та трубку 2 зворотного потоку палива, що встановлювали у прямий 3 та зворотний 4 потоки палива відповідно.

В результаті досліджень встановлено, що похибка вимірювань витрат палива витратоміром-винаходом у порівнянні з витратоміром-прототипом зменшилася на 12-19 %.

15 Таким чином, витратомір-винахід не тільки може бути використаний для двигунів з системою зворотного зливання палива в бак (з лінією повертання палива), але й забезпечує підвищення точності вимірювань витрат палива.

Джерела інформації:

20 1. Пат. 90985 Україна, F 02 M 5/00. Калориметричний витратомір моторного палива з цифровою обробкою вимірювальної інформації / О.М. Безвесільна, А.В. Ільченко, Ю.О. Подчашинський, Ю.О. Шавурський. - № а2009105665; заявл. 19.10.2009, опубл. 10.06.2010, Бюл. № 11.

2. Топливные системы дизелей с насос-форсунками и индивидуальными ТНВД. Пер. с англ. Учеб. пособие. - М: ЗАО "Легион-Авто дата", 2006.-48 с.: ил.

25 3. Дизельные аккумуляторные топливные системы Common Rail. Пер. с англ. Учеб. пособие. - М.: ЗАО "Легион-Автодата", 2005.-48 с.: ил.

4. Трейстер Р. Системы впорскування палива BOSCH / Р. Трейстер, Дж. Мейо.-1990.-200 с.

5. Поліщук Є.С. Засоби і методи вимірювань неелектричних величин. Підручник / Ред. Поліщук Є.С., М.М. Дорожовець, Б.І. Стаднік, О.В. Івахів, Т.Г. Бойко. - Львів: Видавництво "Бескид Біт", 2008.-368 с.

30 6. Спектор С.А. Электрические измерения физических величин. Методы измерений. Учеб. пособие для вузов / С.А. Спектор - Л.: Энергоатомиздат. Ленинград, отделение, 1987.-320 с.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

35 Калориметричний витратомір моторного палива з підвищеною точністю вимірів, що містить послідовно з'єднані блок (14) логарифмування, блок (15) лінійної апроксимації та блок (16) обчислення витрат палива, трубку (1) з прямим потоком палива, в якій розміщений нагрівач (5) прямого потоку палива, по різні боки якого розташовані дві групи (7, 8) термоперетворювачів прямого потоку палива, в кожній з яких термоперетворювачі прямого потоку палива розташовані послідовно на заданих відстанях від нагрівача (5) прямого потоку палива, поза зоною дії якого розміщений термоперетворювач (11) прямого потоку палива, який **відрізняється** тим, що додатково введені блок (13) віднімання та трубка (2) зі зворотним потоком палива, в якій розміщений нагрівач (6) зворотного потоку палива, по різні боки якого розташовані дві групи (9, 10) термоперетворювачів зворотного потоку палива, в кожній з яких термоперетворювачі зворотного потоку палива розташовані послідовно на заданих відстанях від нагрівача (6) зворотного потоку палива, поза зоною дії якого розміщений термоперетворювач (12) зворотного потоку палива, а виходи термоперетворювача (11) прямого потоку палива та термоперетворювача (12) зворотного потоку палива, а також однойменні виходи груп (7, 8) термоперетворювачів прямого потоку палива та груп (9, 10) термоперетворювачів зворотного потоку палива підключені попарно до входів блока (13) віднімання, вихід якого з'єднаний із входом блока (14) логарифмування.