



ПРИКЛАДНЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

УДК 531.383:621.436:665.75

ПЕРЕДАЧА ТЕПЛА В ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНОМУ ВИТРАТОМІРІ БІОПАЛИВ

Ільченко Андрій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент
Кафедра автомобілів та автомобільного господарства, Житомирський державний технологічний
університет, вул. Черняхівського, 103, м. Житомир, Україна, 10005
E-mail: avi_7@rambler.ru

Безвесільна Олена Миколаївна, доктор технічних наук, професор
Кафедра Приладобудування, Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут», проспект Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056
E-mail: bezvesilna@mail.ru

Тростенюк Юрій Валерійович, аспірант
Кафедра Автомобілі і автомобільне господарство, Житомирський державний технологічний
університет, вул. Черняхівського 103, м. Житомир, Україна, 10005
E-mail: mix_ua@meta.ua

В статті досліджується передача тепла в трубі термоанемометричного витратоміра біопалив. Наведено рівняння, що описують процеси передачі тепла як в радіальному, так і в осьовому напрямках трубки термоанемометра, в яких показано, як можна врахувати фізичні властивості біологічної складової сумішевого палива на основі дизельного палива та бензину під час виміру їх витрати термоанемометричним витратоміром.

Ключові слова: двигун, термоанемометр, теплопередача, теплопровідність, витратомір, паливо, біопаливо, витрата.

В статье исследуется передача тепла в трубке термоанемометрического расходомера биотоплива. Получены уравнения, описывающие одновременно процессы передачи тепла как в радиальном, так и в осевом направлениях трубки термоанемометра. Приведены уравнения, описывающие процессы передачи тепла, как в радиальном, так и в осевом направлениях трубки термоанемометра, в которых показано как можно учесть физические свойства биологической составляющей смеси топлива на основе дизельного топлива и бензина при измерении их расходов термоанемометрическим расходомером.

Ключевые слова: двигатель, термоанемометр, теплопередача, теплопроводность, расходомер, топливо, биотопливо, расход.

1. Вступ

Представлене дослідження відноситься до галузі приладобудування і може бути застосоване для розробки приладів вимірювання витрат палив (в тому числі й біопалив), наприклад, в машинобудуванні, на автотранспорті тощо.

Вимірювання витрат палив, в тому числі й біопалив різного походження, під час експлуатації автомобілів є необхідною складовою транспортного процесу, обліку економічних складових перевезень. Дані реальних витрат в експлуатації дозволяють зробити висновок про технічний стан автомобіля

в цілому. Також використання витратомірів палив на автомобілі дозволяє проводити ефективно навчання водіїв прийомам економічного керування транспортним засобом. Тому необхідність розроблення та впровадження на транспорті витратомірів палива не викликає сумнівів.

Однак, не всі типи витратомірів можна використовувати для дорожніх транспортних засобів. Це пов'язано, перш за все, з умовами їх роботи: тряска, вібрація, динамічні навантаження, необхідність підтримувати стабільну напругу в електричній мережі живлення витратоміра тощо. Є також вимоги (особливості) щодо встановлення витратомірів в системі

живлення двигуна автомобіля відносно лінії горизонту.

До витратомірів палив, що працюють на транспорті, висуваються багато специфічних вимог. Наприклад, необхідність виміру витрат палив як прямого (що йде безпосередньо до двигуна та їм споживається) потоку палива, так і виміру зворотного потоку палива (палива, що зливається в бак), оскільки сучасні автомобільні двигуни мають систему зворотного повертання палив в бак — дизелі, інжекторні та карбюраторні.

Особливої уваги потребують витратоміри біопалив: наявність складової біологічного походження, наприклад, в сумішевих паливах (паливах на основі дизельного палива (ДП) з домішками олій рослинного походження (ОРП), бензину з домішками біоетанолу, багатокомпонентних палив з домішками біопалив тощо) впливає на величину похибки виміру їх витрат та потребує врахування не тільки природи цієї складової, а також багатьох їх фізичних властивостей: густини, сил поверхневого натягу, тиску насичених парів, теплопровідності тощо. А різна концентрація «біологічної» складової в основному паливі по різному впливає на похибку вимірювання їх витрат.

Тому, розроблення сучасних методів та засобів визначення витрат біопалив на транспорті, в тому числі й автомобільному, є актуальною науково-практичною задачею, а термоанемометричні витратоміри (ТАВ) якнайбільше відповідають сучасним вимогам вимірювання витрат біопалив та умовам роботи на автотранспорті [1].

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

В роботах [1–2] підкреслюється, що за останні роки відбувається не тільки зростання вартості палив нафтового походження. В сучасних умовах також треба шукати шляхи зменшення енергетичної залежності від держав-постачальників нафтопродуктів, так званих держав-«заправних станцій». Одним з шляхів вирішення цієї проблеми є використання на першому етапі сумішевих палив (палив з домішками ОРП до ДП, біоетанолу до бензину тощо).

В [3] розглянуто витратомір підвищеної точності з двох циклоїдних внутрішніх роторів, однак його використання на автомобільному транспорті практично неможливо.

В [4–6] наведено конструкції, принципи дії та характеристики існуючих ТАВ для виміру витрат різних палив. Також дано характеристики та аналіз конструкцій сучасних термоперетворювачів, що використовуються в цих ТАВ, проаналізовано їх переваги та недоліки. Однак, в більшості випадків кількість перетворювачів становить дві одиниці: один встановлений на нагрівальному елементі (НЕ), другий на певній відстані від нього.

Аналіз [7, 8] показав що наведені в них ТАВ використовуються лише для визначення витрат газів або рідин, з певними властивостями. До складу ТАВ входять два датчики температури та один НЕ. Як і в попередніх випадках один датчик встановлений на НЕ, а другий — на відстані від нього. Місце встановлення датчиків можливе, як в центрі поперечного перерізу трубки ТАВ, так і біля поверхні трубки. Така конструкція орієнтована на певний діапазон витрат, та має різну похибку вимірювання та чутливість приладу для різних витрат, що призводить до різних похибок вимірювання для різних швидкостей руху рідини в трубці ТАВ.

Зрозуміло, що процес теплопередачі, його кількісні показники залежать від властивостей рідини, витрата якої вимірюється, та багатьох параметрів ТАВ, наприклад, внутрішнього діаметра трубки, діаметра НЕ, місць розташування термоперетворювачів, їх кількості тощо. Це вимагає корегування процесів теплообміну між сумішевим паливом з різним вмістом біопалив в основному паливі та навколишнім середовищем, удосконалення конструкції ТАВ та підвищення його чутливості та зниження похибки вимірювання в усьому діапазоні витрат палив.

3. Мета і задачі дослідження

Метою даного дослідження є удосконалення рівнянь, що описують передачу тепла в трубці ТАВ, конструкцію якого описано в [9, 10], для покращення точності виміру витрат палив (в тому числі й біопалив) двигуном автомобіля, врахуванням впливу їх властивостей щодо теплопередачі на витрату.

Для досягнення вказаної мети вирішувались наступні задачі:

- ➔ введення в рівняння радіального теплового потоку теплопровідності дво- та багатокомпонентного палива та представлення в новому вигляді коефіцієнта радіальної теплопровідності трубки ТАВ для сумішевих палив;

- ➔ аналіз факторів, що впливають на конструктивний коефіцієнт трубки ТАВ та отримання його чисельного значення за умови покращення чутливості ТАВ та підвищення точності вимірів витрат палив, в тому числі й біопалив.

4. Передача тепла в трубці ТАВ

Коефіцієнт теплопровідності двокомпонентного палива, наприклад, на основі ДП, Вт/(м °К) [10]:

$$\lambda_1 = \lambda_{\text{ДП}}(1-k) + \lambda_{\text{д}}k, \quad (1)$$

де $\lambda_{\text{ДП}}$ — коефіцієнт теплопровідності ДП, Вт/(м °К); $\lambda_{\text{д}}$ — коефіцієнт теплопровідності домішки, Вт/(м °К);

k – концентрація домішки в двокомпонентному паливі, $k = 0...1$.

Радіальний тепловий потік в трубці ТАВ з циліндричною стінкою (лінійна густина теплового потоку) дорівнюватиме, Вт/м [11]:

$$g_1 = \frac{2\pi}{\ln \frac{d_3}{d_1}} \times \frac{\lambda_2 \lambda_1}{\lambda_2 + \lambda_1} \times (t_1 - t_3), \quad (2)$$

де t_1 – температура нагрівача, °К; t_3 – температура зовнішньої поверхні трубки ТАВ, °К; d_1, d_2, d_3 – діаметри НЕ, трубки ТАВ внутрішній, трубки ТАВ зовнішній, відповідно, м; λ_2 – коефіцієнт теплопровідності трубки ТАВ, Вт/(м °К);

На основі (1), (2) аналітично можливо врахувати зміну радіального теплового потоку трубки ТАВ при використанні дво- та багатокомпонентних палив.

В [9] доведено, що з метою підвищення точності вимірювань та чутливості ТАВ біопалив для бензину, ДП, біоетанолу, ОРП і різних їх витрат двигуном автомобіля (від 5 до 25 л/год) витратомір повинен мати наступні геометричні параметри: відношення діаметра НЕ до внутрішнього діаметра трубки ТАВ повинно складати 2/3. Вимірювання температур палива (їх витрат) доцільно виконувати на відстані 1...7 см по осі трубки ТАВ від НЕ для автомобілів, що працюють на паливах з відносно невеликим значенням динамічної в'язкості.

Необхідне відношення діаметра НЕ до внутрішнього діаметра трубки витратоміра саме 2/3 пояснюється тим, що зменшення діаметра НЕ призводить до зниження температури нагріву палива та до погіршення точності вимірювання і чутливості приладу. Збільшення діаметра НЕ призводить до турбулізації палива в потоці після нього, вирівнюванню температурного поля (як радіального, так і осевого) та зменшенню різниць температур, що реєструються датчиками температури і, відповідно, погіршенню чутливості приладу та зменшенню точності вимірювання витрат палив.

Якщо врахувати вищенаведене та використовувати тонкостінну трубку ТАВ, можна прийняти, що $d_2 \approx d_3$, тоді в (2) конструктивний коефіцієнт трубки ТАВ дорівнюватиме [10]:

$$K_K = \frac{2\pi}{\ln \frac{3}{2}} \approx 15,5. \quad (3)$$

Коефіцієнт радіальної теплопровідності трубки ТАВ для деяких сумішевих палив на основі ДП або бензину [10]:

$$K_{PT} = \frac{\lambda_2 \lambda_1}{\lambda_2 + \lambda_1}. \quad (4)$$

В [9] наведено значення теплопровідності біоетанолу, бензину, ДП та ОРП (яка за своїми властивостями близька до ріпакової та соняшникової). На основі цих даних можна визначити теплопровідність двокомпонентних сумішевих палив (табл. 1).

За допомогою даних табл. 1 неважко встановити, що коефіцієнт теплопровідності сумішевого палива на основі бензину в залежності від об'ємної концентрації біоетанолу змінюється за законом:

$$\lambda_{\text{Бенз} + \text{Етанол}} = 0,028k + \lambda_{\text{Бенз}}. \quad (5)$$

Також можна встановити, що коефіцієнт теплопровідності сумішевого палива на основі ДП в залежності від об'ємної концентрації ОРП в ньому змінюється за законом:

$$\lambda_{\text{ДП} + \text{ОРП}} = 0,061k + \lambda_{\text{ДП}}. \quad (6)$$

Трубки ТАВ пропонується виготовляти з саме такого матеріалу, що використовується в паливопроводах систем живлення автомобільних двигунів, наприклад, з сплаву на основі алюмінію (92 % Al, 8 % Mg), з латуні (90 % Cu, 10 % Zn) та сталеві. Якщо оцінювати чисельні значення теплопровідностей цих матеріалів відносно значень теплопровідностей палив, що аналізуються, треба відмітити, що вони на два порядки вищі за теплопровідності палив. Тому, коефіцієнт радіальної теплопровідності трубки ТАВ, згідно з (4), практично в усьому діапазоні можливих в експлуатації автомобіля температур дорівнюватиме теплопровідності палива.

Таблиця 1

Теплопровідність двокомпонентних сумішевих палив

Об'ємна концентрація біоетанолу в бензині	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м*К	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18
Об'ємна концентрація ОРП в ДП	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м*К	0,12	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18

Таким чином можна вважати, що радіальний тепловий потік в трубі ТАВ з циліндричною стінкою (лінійна густина теплового потоку) дорівнює, Вт/м:

$$g_1 = 15,5 \times \lambda_1 \times (t_1 - t_3). \quad (7)$$

В [9] показано зміну осевого теплового потоку в трубі ТАВ для біоетанолу, бензину, ДП та ОРП в залежності від відстані до НЕ та годинної витрати палива в діапазоні витрат від 5 до 25 л/год. Зміна теплового потоку отримана в комп'ютерним моделюванням в CFD-Комплексі COSMOS FloWorks. В ньому рух та теплообмін в різних точках палив моделюється рівняннями Нав'є-Стокса, що описують в нестационарній постановці закони збереження маси, імпульсу та енергії. Крім цього використовуються рівняння стану компонентів палив, а також емпіричні залежності їх в'язкості та теплопровідності від температури. Ньютонівські рідини задаються залежністю їх коефіцієнта в'язкості від швидкості зсувних деформацій та температури, а палива, що стискаються, — залежністю їх густини від тиску. Цими рівняннями моделюються турбулентні, ламінарні та перехідні потоки.

Згідно з [9] залежність температури від відстані до НЕ (розглядається ділянка від 1 до 6 см) може бути лінійізована з достовірністю апроксимації $R^2 = 0,97...1$:

$$t = an + b, \quad (8)$$

де n — відстань до НЕ по осі трубки ТАВ, см; a , b — коефіцієнти для різних палив та їх витрат (табл. 2).

Таблиця 2

Коефіцієнти a і b для різних палив та їх витрат

Паливо	Коефіцієнти	Витрата, л/год				
		5	10	15	20	25
Бензин	a	-5,32	-4	-3,4	-3,1	-2,75
	b	354,1	333,1	327,1	323,5	317
Біоетанол	a	-8,57	-3,9	-2,63	-2,23	-1,92
	b	366,4	333,7	319,4	315,6	312,6
ДП	a	-1,8	-1,47	-1,06	-1,055	-1,05
	b	348,8	340,7	330,2	325,1	321,7
ОРП	a	-5,8	-5,04	-3,32	-2,35	-1,57
	b	380,4	367,7	351,5	342,5	334,4

Таким чином, знаючи температуру на відстані n по осі трубки ТАВ для відомого палива, за допомогою (8) та табл. 2 можна визначити витрату цього палива. Проміжні значення витрат зазначених палив та сумішевих палив на їх основі визначаються інтерполяцією.

5. Висновки

Отримано спрощене рівняння радіального теплового потоку дво- та багатокомпонентного палива в трубі ТАВ. Показано, що коефіцієнт радіальної теплопровідності трубки ТАВ для сумішевих палив дорівнює теплопровідності самого палива.

Запропоновано зміну температури по осі трубки ТАВ представляти у вигляді лінійних залежностей от відстані до НЕ ТАВ.

Проаналізовано фактори, що впливають на конструктивний коефіцієнт трубки ТАВ, обґрунтовано його числове значення, яке за умови покращення чутливості приладу та зменшення похибки виміру витрат палив (в тому числі й біопалив) повинен дорівнювати 15,5.

Література

1. Безвесільна, О. М. Методи вимірювання витрат рідини та конструкції витратомірів [Текст] / О. М. Безвесільна, А. В. Ільченко, А. Г. Ткачук, С. О. Пархоменко // Вісник Інженерної академії України. — 2013. — № 3-4. — С. 216-222.
2. Knothe, G. The Biodiesel Handbook [Text] / ed. G. Knothe, J. Gerpen, J. Krahl. — AOCS Publishing, 2005. — 286 p. doi:10.1201/9781439822357.
3. Liu, S. A High-Pressure Bi-Directional Cycloid Rotor Flowmeter [Text] / S. Liu, F. Ding, C. Ding, Z. Man // Sensors. — 2014. — Vol. 14, № 8. — P. 15480-15495. doi:10.3390/s140815480.
4. Thermal Flowmeter Technology [Electronic resource] / BCC Research. — 2013. — Available at: \www/URL: http://www.flowmeters.com/thermal-technology.
5. Boyes, W. Instrumentation Reference book [Text] / edited by W. Boyes. — Ed. 4. — Linacre House, 2010. — 530 p.
6. Frenzel, F. Industrial Flow Measurement Basics and Practice [Text] / F. Frenzel, H. Grothey, C. Habersetzer, M. Hiatt et al. — ABB Automation Products GmbH, 2011. — 290 p.
7. Duffy, G. J. Thermal mass flow measurement [Electronic resource] / Gabriel J. Duffy, B. Eng. — Dublin City University, 2000. — Available at: \www/URL: http://doras.dcu.ie/18552/1/Gabriel_J_Duffy.pdf.
8. Economical thermal mass flow sensor based on constant temperature anemometry [Electronic resource]. — Nurnberg, Germany, 1999. — Available at: http://www.bronkhorst.com/files/published_articles/sensor99.pdf.

9. Тростенюк, Ю. В. Моделивання осевого теплового потоку трубки термоанемометричного витратоміра біопалив [Текст] / Ю. В. Тростенюк, О. М. Безвесільна, А. В. Ільченко // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». — 2014. — № 46. — С. 538–545.
10. Ільченко, А. В. Зміна радіального теплового потоку термоанемометричного витратоміра біопалив двигуна внутрішнього згоряння [Текст] / А. В. Ільченко, О. М. Безвесільна, Ю. В. Тростенюк // Вісник НТУ. — 2013. — № 28. — С. 186–191.

Abstract. The article introduces the equations which reflect variations of the thermal conductivity coefficient of a mixture of petroleum-based fuels, depending on the volume percent concentration of ethanol, and variations of the thermal conductivity coefficient of mixtures of fuels with diesel fuel as a basis, depending on the volume percent concentration of the vegetable oil.

It is shown that the fuel temperature at the level of its consumption ranging from 0 to 25 l/h at a distance from 1 to 6 cm from the heater of a flowmeter can be represented by a straight line approximation.

Analyzed are radial and axial heat flows in the tube of a thermoanemometric flowmeter taking into consideration the influence of the thermal conductivity of biological components of the fuel, their concentration in the fuel mixture. The proposed equations allow us to determine the temperature of the fuel stream and the consumption rate of a car.

It is proven the numerical value of the thermoanemometric flowmeter tube structural coefficient, which under the condition of reducing the measurement error of fuel consumption must be equal to 15,5.

It is proven that the thermal conductivity of the material of a flowmeter tube has little effect on heat flux.

Keywords: engine, anemometer, heat transfer, thermal conductivity meter, tomlivo, biofuels, fuel.

УДК 621.56/59

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЖЕКТОРНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Когут Владимир Емельянович, кандидат технических наук, доцент*

E-mail: vek.56@mail.ru

Бутовский Егор Дмитриевич

Аспирант*

E-mail: ariesoon@gmail.com

Хмельнюк Михаил Георгиевич, доктор технических наук, профессор*

E-mail: hmel_m@ukr.net

* Кафедра холодильных машин, установок и кондиционирования воздуха, Институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В. С. Мартыновского, Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Дворянская 1/3, г. Одесса, Украина, 65082

В статье представлены теплообменные аппараты эжекторного типа. Их предлагается использовать при решении вопросов: снижения высокой температуры всасывания паров в компрессор, снижения высокой температуры конденсации в аммиачных установках при пиковых нагрузках, конденсация паров углеводородов для уменьшения эмиссии легкокипящих фракций жидких углеводородов, очистки дымовых газов, уменьшение усушки продуктов при замораживании, снегование продуктов.

Ключевые слова: уменьшение эмиссии, термопресор, эжекционный фильтр, легкокипящие фракции углеводородов, снегование, термоконденсатор-эжектор.

У статті представлені теплообмінні апарати ежекторного типу. Їх запропоновано використовувати при вирішенні питань: зниження високої температури всмоктування