

**ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНИЙ ВИТРАТОМІР БІОПАЛИВ ДЛЯ
ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ**

Перелік скорочень:

АЦП - аналого-цифровий перетворювач;

БП - біопаливо;

ДВЗ - двигун внутрішнього згоряння;

ДП - дизельне паливо;

ЗП - зворотній потік;

КВПТ - калориметричний витратомір підвищеної точності;

НЕ - нагрівальний елемент;

ОРП - олія рослинного походження;

ПП - прямий потік;

ТАВ - термоанемометричний витратомір;

ТП - термоперетворювач.

.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ВИКОРИСТАННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА В АВТОМОБІЛЬНИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНАХ	5
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	6
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ВИТРАТОМІРІВ	6
2.1. Конструкція існуючих витратомірів, що можуть бути використані на автомобілі	7
2.2. Вимоги до автомобільних витратомірів	8
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....	10
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ В ТРУБЦІ ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНОГО ВИТРАТОМІРА	10
3.1. Радіальний тепловий потік	11
3.2. Осьовий тепловий потік.....	14
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3	20
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНОГО ВИТРАТОМІРА ДЛЯ БІОПАЛИВ	20
4.1. Моделювання часу виходу витратоміра на робочий режим	20
4.2. Принцип дії витратоміра, що пропонується	21
4.2.1. Калориметричний витратомір біопалива з підвищеною точністю виміру	22
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4	29
ВИСНОВКИ	29
ЛІТЕРАТУРА	30

ВСТУП

Актуальність роботи. Термоанемометричні витратоміри (ТАВ) для палив, в тому числі і біологічного походження (біопалив (БП)) необхідні в різних галузях: нафтопереробної, машинобудівної, приладобудівної, на транспорті тощо. БП отримують все більше розповсюдження внаслідок зменшення світових запасів нафти і, як наслідок, обсягів споживання палив на їх основі.

Однак нові БП, що отримано з біосировини, мають фізико-хімічні властивості, відмінні від звичайних палив. Це висуває ряд вимог щодо їх використання, в тому числі до витратомірів цих палив.

Це пов'язано з іншою (а в деяких випадках суттєво іншою) густиною та в'язкістю вказаних палив, що призводить до збільшення похибок вимірювань у існуючих витратомірів. Відомо, що на витрату палива впливає його тип, а в разі використання сумішевих палив, - властивості його складових та їх відсотковий вміст. Особливо це стосується дизельного палива (ДП) з домішками олій рослинного походження (ОРП), які мають іншу теплопровідність, густину і в'язкість відносно ДП. Врахування змін вказаних властивостей дають змогу підвищувати точність вимірювання витрат даних палив, тому даний напрям досліджень можна вважати актуальним.

Мета і завдання дослідження. Метою даного дослідження є розроблення ТАВ з обґрунтованими конструктивними параметрами та підвищення точності виміру витрат БП, отримання залежностей температури різних палив (біопалив) в перетинах трубки ТАВ для різних значень їх витрат.

Об'єктом дослідження є процес виміру витрат БП дизельними двигунами.

Предметом дослідження є ТАВ підвищеної точності для виміру витрат БП.

Наукова новизна та практичне значення роботи. Розроблено математичну модель розподілу температури палива в ТАВ для різних значень їх витрат від відстані до нагрівального елемента (НЕ).

Введено поняття конструктивного коефіцієнта трубки ТАВ, як дорівнює відношення числа 2π до натурального логарифма відношення зовнішнього діаметра трубки ТАВ до діаметра нагрівача.

Запропоновано поняття коефіцієнта радіальної теплопровідності трубки ТАВ. Він дорівнює відношенню добутку коефіцієнта теплопровідності двокомпонентного палива та коефіцієнта теплопровідності матеріалу трубки ТАВ до їх суми.

Запропоновано схемне рішення ТАВ, проведено його налагодження для роботи на автомобілі.

РОЗДІЛ 1. ВИКОРИСТАННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА В АВТОМОБІЛЬНИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНАХ

Виснаження світових запасів мінеральних енергоресурсів та постійне розширення автомобільного парку України призводить до нестачі традиційних моторних палив нафтового походження та погіршення екології навколишнього середовища. Повна або часткова заміна традиційних палив нафтового походження альтернативними паливами дозволить підвищити об'єми виробництва моторних палив та зменшити негативну дію автомобільних двигунів на навколишнє середовище.

Найбільш перспективними паливами для дизелів вважаються прості та складні ефіри, мінерального або органічного походження. Ефіри утворюються в результаті взаємодії неорганічних кислот і спиртів. Найбільшого поширення, в якості палива для автомобільних дизелів, отримав диметилловий ефір, також можливо використовувати діетилловий ефір, дибутиловий ефір, та інші.

Безпосереднє використання ОРП в якості палива для автомобільних дизелів ускладнено в зв'язку з неоднорідністю хімічного складу (з хімічної точки зору ОРП являють собою механічну суміш моно гліцеридів, диігліцеридів та тригліцеридів, вільних жирних кислот, фосфоліпідів, фосфатидів, каротину і інших з'єднань) зі значним вмістом домішок та води в не переробній сировині. Основний компонент ОРП (близько 90 %) – тригліцериди, які складаються з ефірів трьох жирних кислот, що зв'язані між собою молекулою гліцерину.

Ефективніше, з точки зору, збереження паливної економічності та надійності безвідмовної роботи деталей двигуна використовувати суміші мінерального дизельного палива та ОРП при концентрації олії, що не перевищує 60 %. Однак для двигунів з нероздільною камерою згоряння оптимальна концентрація ОРП в суміші з дизельним паливом становить до 25 %. Забезпечення ефективної і безвідмовної роботи дизеля при більш високих концентраціях ОРП потребує внесення змін в конструкцію двигуна і паливної апаратури: підвищення тиску впорскування палива та зміна кількості і діаметру отворів розпилювачів, використання роздільної системи подачі палива і ОРП, зміна форми і об'єму камери згоряння та інше.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Показано, що використання палив біологічного походження (в тому числі олій рослинного походження) для дизельних двигунів дає можливість заощаджувати палива на нафтовій основі.
2. Наведено приклади ефективної і безвідмовної роботи дизелів на суміші мінерального дизельного палива та ОРП концентрацій до 60 %.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ВИТРАТОМІРІВ

2.1. Конструкція існуючих витратомірів, що можуть бути використані

на автомобілі

Витратомір – це пристрій для вимірювання витрат однофазних потоків рідини. В нашому випадку для виміру витрат палив (біопалив) для двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Вони відрізняються за принципами дії, конструкцією, складністю, особливостями використання, точністю вимірів та багатьма іншими ознаками. Важливою ознакою витратомірів, що пропонуються для використання в ДВЗ, є можливість (або принципова неможливість) такого їх використання із-за особливостей та умов роботи ДВЗ.

Для порівняння та аналізу необхідно розглянути де-які витратоміри з різним принципом дії.

Принцип дії витратоміра зі звужуючими пристроями полягає в тому, що тиск палива до і після звужуючого пристрою залежить від його витрати. В результаті даного перепаду відбувається перетворення частини потенційної енергії потоку палива в кінетичну. При цьому можна використовувати різні за конструкцією звужуючі пристрої.

Відцентрові витратоміри враховують перепад тиску, що утворюється в заокруглених ділянках трубопроводів в залежності від витрати палива. В таких витратомірах використовують «коліна» або кільцеві ділянки.

У витратомірах з напірним пристроєм створюється перепад тиску для місцевого перетворення кінетичної енергії палива в потенційну в залежності від його витрати. Окрім цих перетворювачів, які призначаються для вимірювання місцевої швидкості, зустрічаються перетворювачі з інтегруючими напірними трубками. Інтегрування повного тиску ведеться за діаметром або за радіусом, а за наявності сильно деформованих потоків – за двома взаємно перпендикулярними діаметрами.

В ударно-струменевих витратомірах принцип дії полягає у використанні залежності перепаду тиску, що виникає внаслідок ударної дії струменю, від зміни витрати палива. Струмінь палива, який витікає зі звуженого отвору, створює тиск у внутрішній порожнині сильфона, на який ззовні діє менший тиск, який дорівнює тиску рідини, що витікає з вихідної трубки. Головним недоліком таких витратомірів вважається можливість їх застосовувати тільки для вимірювань незначних витрат палив.

Тахометричними називаються витратоміри з рухомими елементами, швидкість руху яких пропорційна об'ємній витраті палива. Такі витратоміри бувають різної конструкції: турбінні, кулькові, роторні, камерні тощо.

Перевагами тахометричних витратомірів є – швидкодія, висока точність і значний діапазон вимірювань. Але існують обмеження їх використання на автомобільних ДВЗ: на точність вимірювань впливають тряска, вібрації, ударні навантаження тощо.

2.2. Вимоги до автомобільних витратомірів

Висока точність вимірювань – одна з основних вимог, що висуваються до витратомірів палив (біопалив) на автомобільному транспорті. Якщо раніше похибка в 1,5...2 % вважалася задовільною, то в даний час внаслідок багатьох причин треба мати похибку до 0,2...0,5 %. Підвищення точності виміру витрат палив (біопалив) досягається застосуванням нових методів і приладів (теплових в тому числі), а також вдосконаленням класичних методів.

Надійність також одна з головних вимог до витратомірів палива (біопалива). Показником надійності вважають час, протягом якого прилад зберігає працездатність і задовільну точність.

Для незалежності результатів вимірювання від густини, в'язкості, теплопровідності палив тощо, необхідно мати пристрої автоматичної корекції показань витратоміра при зміні температури і тиску палива.

Також необхідна достатня швидкодія витратоміра палива при вимірюванні швидкозмінних витрат, які мають місце під час роботи двигуна на різних навантажувальних та швидкісних режимах. Особливість використання витратомірів палива для автомобільних ДВЗ полягає в відносно великому діапазоні вимірювання витрат. В приладах з лінійною характеристикою, наприклад електромагнітних, цей діапазон сягає восьми–десяти, у витратомірів зі звужуючими пристроями він дорівнює трьом. Збільшити його можна підключенням до звужуючого пристрою декількох дифманометрів, що ускладнює конструкцію витратоміра. В теплових витратомірах зміною потужності нагрівача можна одержати розширену шкалу з великим діапазоном вимірювання, що є однією з їх сутєвих переваг.

Ще один шлях, запропонований авторами, це використання ТАВ з декількома секціями (рис. 2.1). Це дає можливість вплинути на швидкість потоку палива та на точність вимірювання його витрат в більш широкому діапазоні [1].

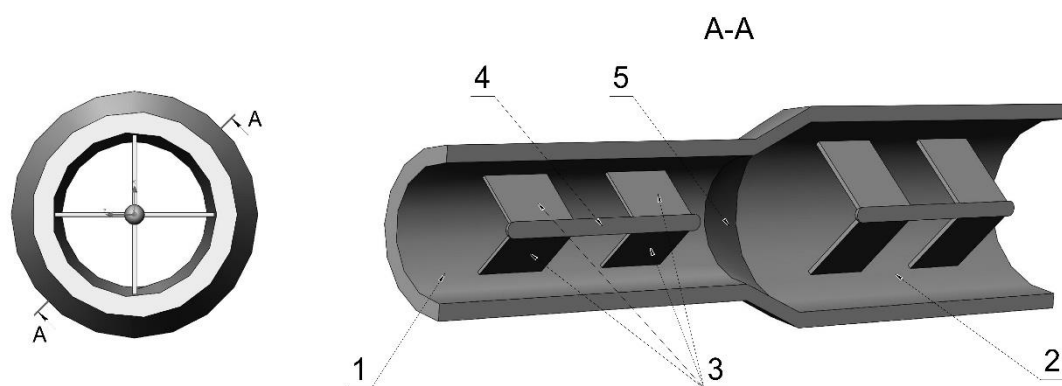


Рис. 2.1. Двосекційний витратомір (позначення наведено на першій секції): 1, 2 – перша та друга секції витратоміра; 3 – кріплення нагрівальних та вимірювальних елементів; 4 – нагрівальні та вимірювальні елементи; 5 –

перехідний конічний елемент

На практиці існує різноманітна номенклатура палив (біопалив) для дизелів, які можуть бути не тільки однокомпонентними, але і багатокомпонентними. Треба мати на увазі, що основні методи вимірювання витрати розроблено для однокомпонентних палив. Це є недоліком існуючих методів, потребує (розробки) нових та удосконалення відомих засобів вимірювання витрат палив (біопалив)

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Проведено аналіз існуючих конструкцій витратомірів, що можуть бути використані для виміру витрат палив (біопалив) безпосередньо в умовах роботи автомобілів.
2. Визначено та проаналізовано основні вимоги, щодо витратомірів. Показано, що теплові витратоміри мають переваги відносно інших типів витратомірів під час їх використання на автомобілях.
3. Для розширення діапазону виміру витрат палив (біопалив) запропоновано використання теплових витратомірів, що мають дві (або більше) секції різних діаметрів.

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ В ТРУБЦІ ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНОГО ВИТРАТОМІРА БІОПАЛИВ

Необхідність розробки та створення сучасних методів та засобів вимірювання витрат моторних палив не викликає сумнівів. Особливо це стосується БП, використання яких неминуче внаслідок виснаження запасів нафти, зменшення обсягів споживання палив нафтового походження, зменшення залежності від країн-імпортерів нафти та нафтопродуктів.

Різноманіття умов експлуатації автомобілів вимагає врахування різних умов: дорожніх, транспортних, умов руху, сезонних тощо.

Крім того, автотранспорт працює в умовах динамічних навантажень,

тряски, вібрацій, пилу, бруду, впливу факторів навколишнього середовища.

Впровадження нових видів палива, що отримано з альтернативної сировини та мають фізико-хімічні властивості, відмінні від нафтових палив, висуває ряд специфічних вимог до витратомірів та вимагає їх удосконалення.

Як було показано вище, на точність виміру витрат палива впливає його фізико-хімічні властивості. Це стосується також і ДП з добавками ОРП (ріпак, кукурудза, соняшник, соя, оливки тощо), які мають іншу відносно ДП теплопровідність (змінює режими роботи ТАВ), підвищену густину (збільшується сила тяжіння, що діє на одиницю об'єму палива) і в'язкість (збільшується в'язке тертя). Таким чином вказане паливо має фізико-хімічні властивості, що суттєво відрізняються від властивостей нафтового палива. Крім того, ці властивості можуть змінюватися для палива, що отримано від різних виробників, за різними технологіями та з різної сировини [2-5]. Робота витратоміра безпосередньо на автомобілі пов'язана не тільки із зазначеними умовами, а також і з коливанням його опори, можливою нестабільністю напруги живлення тощо.

Це все накладає специфічні вимоги на конструкцію витратомірів. Визначенням та нормуванням витрат палив для автотранспорту займалися та займаються багато вчених за кордоном та в Україні. Однак, на сьогодні ще недостатньо розроблено термоанемометричні методи та засоби вимірювання витрат БП в умовах роботи автомобільного транспорту. На початковому етапі для створення ТАВ із забезпеченням необхідної точності вимірювання витрат палив треба розробити моделі теплових потоків (осьового та радіального), що характеризують роботу ТАВ.

3.1. Радіальний тепловий потік

Оскільки на точність вимірювання витрат палив (особливо сумішевих) впливають теплопровідність їх складових, а також стінок трубки ТАВ, виникає необхідність врахувати зміну теплового потоку від нагрівального елемента (НЕ) до зовнішньої поверхні трубки ТАВ (рис. 3.1.).

Проаналізуємо вказаний процес на прикладі двокомпонентного палива. Це може бути ДП з домішками ОРП.

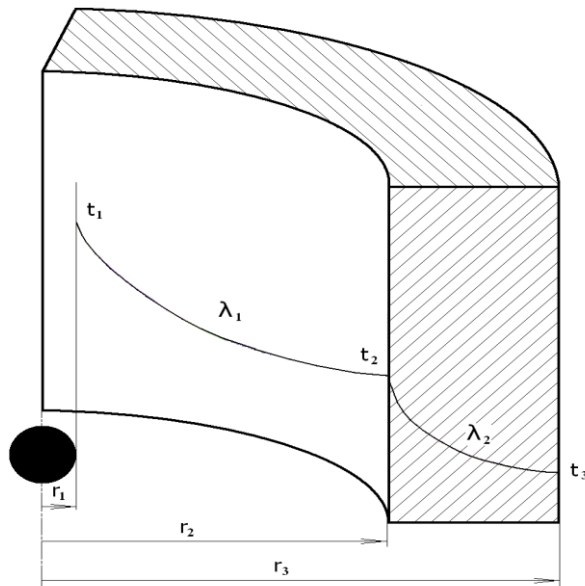


Рис. 3.1. Зміна радіального теплового потоку в трубці ТАВ: r_1 – радіус НЕ; r_2 та r_3 – внутрішній та зовнішній радіуси трубки ТАВ.

Коефіцієнт теплопровідності двокомпонентного палива можна представити у вигляді, Вт/(м °K):

$$\lambda_1 = \lambda_{\text{ДП}}(1 - k) + \lambda_{\text{до}} k, \quad (3.1)$$

де $\lambda_{\text{ДП}}$ – коефіцієнт теплопровідності ДП, Вт/(м °K);

$\lambda_{\text{до}}$ – коефіцієнт теплопровідності домішки, Вт/(м °K);

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

Радіальний тепловий потік в трубці ТАВ з циліндричною стінкою (лінійна густина теплового потоку) дорівнюватиме [2], Вт/м:

$$g_1 = \frac{2\pi(t_1 - t_3)}{\frac{\ln \frac{d_2}{d_1}}{\lambda_1} + \frac{\ln \frac{d_3}{d_2}}{\lambda_2}}, \quad (3.2)$$

де t_1 – температура НЕ, °К;

t_3 – температура зовнішньої поверхні трубки ТАВ, °К;

d_1, d_2, d_3 – діаметри нагрівача, трубки ТАВ внутрішній, трубки ТАВ зовнішній, відповідно, м.

λ_2 – коефіцієнт теплопровідності матеріалу трубки ТАВ, Вт/(м °К);

На основі (3.1, 3.2) стає можливим врахувати зміну радіального теплового потоку трубки ТАВ при використанні багатокomпонентних палив.

Перетворення (3.2) дає можна представити у вигляді:

$$g_1 = \frac{2\pi}{\ln \frac{d_3}{d_1}} \times \frac{\lambda_2 \lambda_1}{\lambda_2 + \lambda_1} \times (t_1 - t_3) \quad (3.3)$$

В перший дріб виразу (3.3) входять лише конструктивні параметри трубки ТАВ. Його пропонується називати конструктивним коефіцієнтом трубки ТАВ, що характеризує радіальний тепловий потік g_1 :

$$K_K = \frac{2\pi}{\ln \frac{d_3}{d_1}} \quad (3.4)$$

З (3.4) слідує, що радіальний тепловий потік g_1 не залежить від конструктивних параметрів трубки ТАВ, якщо:

$$\ln \frac{d_3}{d_1} = 2\pi, \quad (3.5)$$

Другий дріб (3.3) характеризує радіальну теплопровідність трубки ТАВ, тому його пропонується називати коефіцієнтом радіальної теплопровідності трубки ТАВ:

$$K_{PT} = \frac{\lambda_2 \lambda_1}{\lambda_2 + \lambda_1} \quad (3.6)$$

Таким чином, радіальний тепловий потік трубки ТАВ залежить від добутку конструктивного коефіцієнта, коефіцієнта радіальної

теплопровідності та різниці температур між HE та зовнішній поверхнею трубки ТАВ. З представлених виразів видно, що на величину радіального теплового потоку не впливає внутрішній діаметр трубки ТАВ. Це пояснюється однаковими температурами на межі розділу середовищ та врахуванням процесу теплопередачі в коефіцієнті радіальної теплопровідності трубки ТАВ.

3.2. Осьовий тепловий потік

Виробники автомобілів для визначення витрати палива двигуном використовують сукупність показань датчиків та параметрів роботи паливної системи: обертів колінчастого вала, витрати повітря, часу впорскування палива, тиску в системі живлення, показників токсичності тощо. Такий підхід має недоліки: наявність механічних складових, які з часом змінюють свої властивості; низька миттєва точність вимірювання тощо. Основними недоліками більшості різних методів та засобів визначення витрат палив є незадовільна похибка вимірювання, інерційність на зміну його витрати.

Одним із шляхів усунення даних недоліків є удосконалення конструкцій витратомірів викристанням електронних елементів. ТАВ [2, 3] повністю задовольняє умовам експлуатації на автомобілях з двигунами, що працюють на різних паливах. Конструкція витратоміра включає в себе трубку ТАВ, в якій встановлено HE та датчики температури палива.

Вимірювання витрат палив двигуном автомобіля за допомогою ТАВ сьогодні ще не мають практичного застосування. Однією з причин є відсутність математичних моделей розподілу температур по осі трубки ТАВ та необґрунтованість геометричних параметрів ТАВ (діаметрів трубки та HE, місць розташування датчиків температур).

Необхідно отримати залежності температур палив від відстані до HE вздовж осі трубки ТАВ з урахуванням їх витрат. Проведено визначення геометричних параметрів трубки та HE ТАВ, при яких незалежно від

НЕ, мм; T_{HE} – температура НЕ, °K; $T_{вих}$ – температура палива на виході ТАВ, °K; P – тиск на виході ТАВ, Па; Δn – крок щодо розрахунків температури вздовж осі трубки ТАВ, мм; Δr – крок щодо розрахунків радіальних температур (прийнято $\Delta r = (D_1)/6$), мм; $a_{0-1} \dots a_{3-13}$ – точки розрахунків температури; A – точка на зовнішньої поверхні НЕ.

Основним параметром, що необхідно визначити, обрано найбільший перепад температури палива за довжиною трубки ТАВ. В процесі моделювання прийнято, що внутрішня поверхня трубки витратоміра має ідеальну шорсткість і не поглинає теплоту, рух палива на вході рівномірний, в якості палива проаналізовано бензин, біоетанол, ДП та ОРП (за властивостями близька до ріпакової та соняшникової олій) (табл. 3.1).

Таблиця 3.1.

Властивості палив

Паливо	Густина, кг/м ³	Динамічна вязкість, Па*с	Теплоємність , Дж/(кг*К)	Теплопровідність, Вт/(м*К)
Біоетанол	790	0,00114	2396,4	0,181
Бензин	730	0,00053	1840	0,153
ДП	872,7	0,0064	1845	0,1169
ОРП	913	0,084	1736	0,178

Моделювання розподілу температури по осі трубки ТАВ проведено в два етапи. На першому етапі визначено відношення розмірів НЕ до внутрішніх розмірів трубки ТАВ, при яких різниця температури між точками, що розташовані найближче і найдалше від НЕ буде максимальною для кожного з палив. При цьому прийнято: $Q=25$ л/год, $T_{вх}=293,2$ °K, $T_{HE}=573,2$ °K, $T_{вих}=293,2$ °K, $D_1=6$ мм, $D_2=1 \dots 5$ мм (з кроком 1 мм), $\Delta n=1$ см.

В результаті моделювання отримано залежності, що описують значення температур в точках по осі трубки ТАВ для вказаних палив (рис. 3.3-3.6).

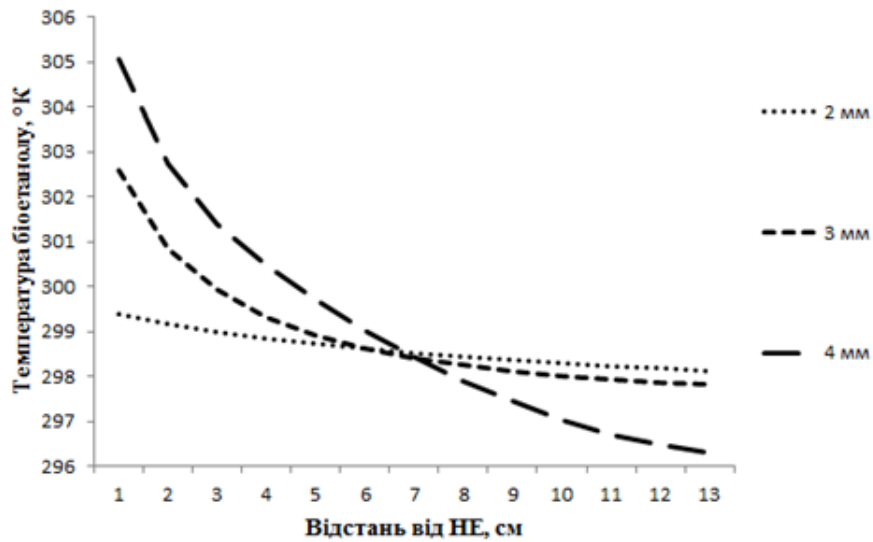


Рис. 3.3. Залежність температури біоетанолу від відстані до НЕ для $D_2=2-4$ мм.

Таким чином для вимірювання витрати біоетанолу за допомогою ТАВ з $D_1=6$ мм, доцільно використовувати НЕ з $D_2=4$ мм. При вказаних геометричних параметрах перепад температури за довжиною трубки ТАВ найбільший $\Delta T=8,77$ °К. При значеннях менших $D_2=2$ мм прогрів палива за допомогою НЕ недостатній і перепад температур ΔT суттєво зменшується. Це призведе до погіршення точності вимірювань. Значення більші за $D_2=5$ мм впливають на рух палива, він стає турбулентним. Це призводить до збільшення температури палива біля стінок трубки і зменшення її різниці по осі трубки, що створить негативний вплив на точність вимірювання витрат.

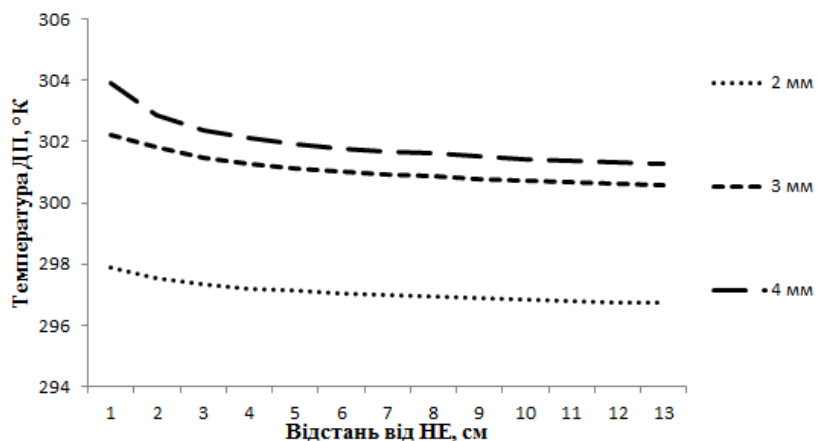


Рис. 3.4. Залежність температури ДП від відстані до НЕ для $D_2=2-4$ мм.

Аналіз рис 3.4. показав, що для ДП також доцільно використовувати НЕ розмірами $D_2=4$ мм. При цьому $\Delta T=2,64$ °К.

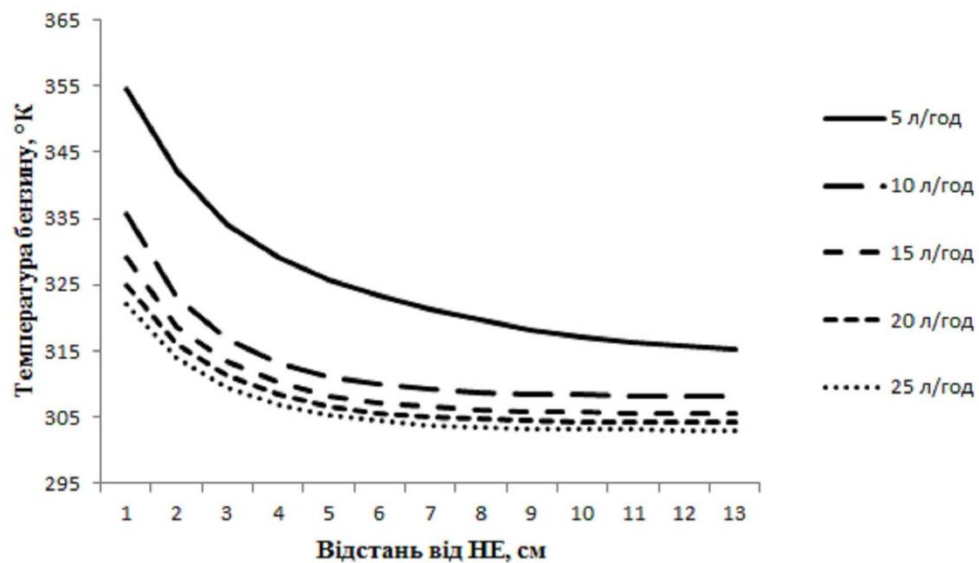


Рис. 3.5. Залежність температури ОРП від відстані до НЕ $D_2=2-4$ мм.

При моделюванні теплового потоку ОРП спостерігається інший характер зміни температур при $D_2=4$ мм НЕ. При цьому $\Delta T=4,89$ °К. Це, ймовірно, викликано величиною динамічної в'язкості ОРП у порівняння з попередніми паливами.

Таким чином встановлено, що для всіх палив, які досліджувалися, найбільший перепад температури вздовж осі трубки ТАВ спостерігається при наступних розмірах НЕ та трубки ТАВ: $D_2=4$ мм та $D_1=6$ мм.

Далі було визначено залежності зміни температур по осі трубки ТАВ від швидкостей руху (витрат) палив. Сучасні автомобільні двигуни можуть мати витрати палива від 0 л/год (примусовий холостий хід,), 1,5 л/год (холостий хід), 25 л/год і більше (максимальне навантаження) [5]. В даному дослідженні діапазон витрат палив від 5 до 25 л/год поділено на п'ять піддіапазонів з кроком 5 л/год.

Підвищення температури НЕ мало на меті збільшити чутливість датчиків температури в точках вимірювання. Максимальна температура

палива повинна бути меншою за температуру спалахування палива. Використовуючи отримані вище розміри НЕ, трубки ТАВ та відомі значення витрати палива, максимальну припустиму температуру НЕ прийнято $T_{HE}=973^{\circ}\text{K}$, відповідно: для ДП 610°K , біоетанолу до 543°K , бензину 608°K і ОРП 712°K . Для даних T_{HE} різних палив отримано значення температур вздовж осі трубки ТАВ від відстані до НЕ (рис.3.6.-3.7.).

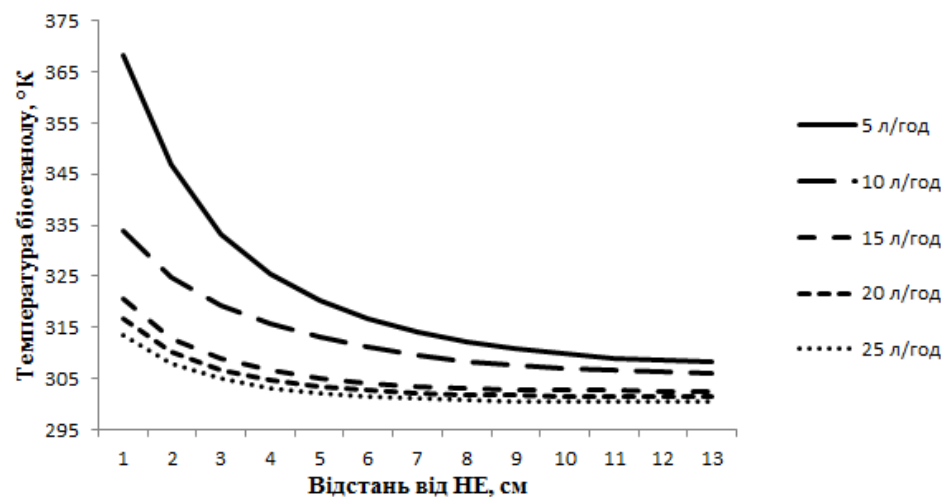


Рис. 3.6. Залежність температури біоетанолу від відстані до НЕ для $Q = 5-25$ л/год.

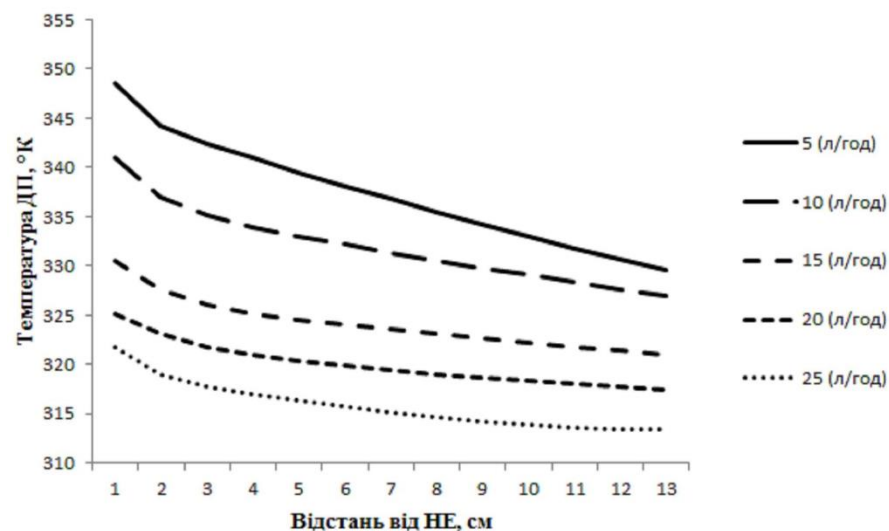


Рис. 3.7. Залежність температури ДП від відстані до НЕ для $Q = 5-25$ л/год.

З рис. 3.6.-3.7. видно, що для більшості палив максимальна відстань від

НЕ, при якій перепад температури можливо виміряти з задовільною точністю, складає 7 см. Однак для ОРП (через величину її динамічної в'язкості) діапазон вимірювання температури більший і дозволяє вимірювати збільшену температуру навіть на відстані 13 см від НЕ.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1. Введено поняття конструктивного коефіцієнта трубки термоанемометричного витратоміра, який дорівнює відношенню числа 2π до логарифма натурального відношення зовнішнього діаметра трубки термоанемометричного витратоміра до діаметра нагрівача.
2. Введено поняття коефіцієнта радіальної теплопровідності трубки термоанемометричного витратоміра, який дорівнює відношенню добутку коефіцієнта теплопровідності двокомпонентного палива та коефіцієнта теплопровідності матеріалу трубки термоанемометричного витратоміра до їх суми.
3. Проведено моделювання радіального теплового потоку в трубці термоанемометричного витратоміра для біопалив, який дорівнює добутку конструктивного коефіцієнта, коефіцієнта радіальної теплопровідності та різниці температур між нагрівачем та зовнішній поверхнею трубки термоанемометричного витратоміра.
4. Отримано залежності температур палив по осі трубки термоанемометричного витратоміра, з урахуванням їх витрат від відстані до нагрівального елемента, що дає можливість підвищити точність вимірювання витрат вказаних палив.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНОГО ВИТРАТОМІРА ДЛЯ БІОПАЛИВ

4.1. Моделювання часу виходу витратоміра на робочий режим

Теплові витратоміри можуть застосовуватися при вимірюваннях невеликих витрат палив з практично будь-якими фізико-хімічними властивостями, які необхідно обов'язково враховувати. Особливо це стосується визначення витрат БП з різною концентрацією домішок до основного палива, яка вплине на похибку вимірювання.

Експериментально доведено [2], що час виходу ТАВ на робочій режим для різних струмів, що проходять через ніхромовий НЕ та різних концентрацій ОРП в ДП може змінюватися від 1,75 до 7,4 сек для ДП і від 3,7 до 16,2 сек за умови наближення до температури спалахування палива (рис. 4.1). Таким чином, час виходу ТАВ на робочій режим в залежності від вмісту ОРП в ДП змінюється в 9,3 рази, що обов'язково необхідно враховувати для побудови алгоритму його роботи.

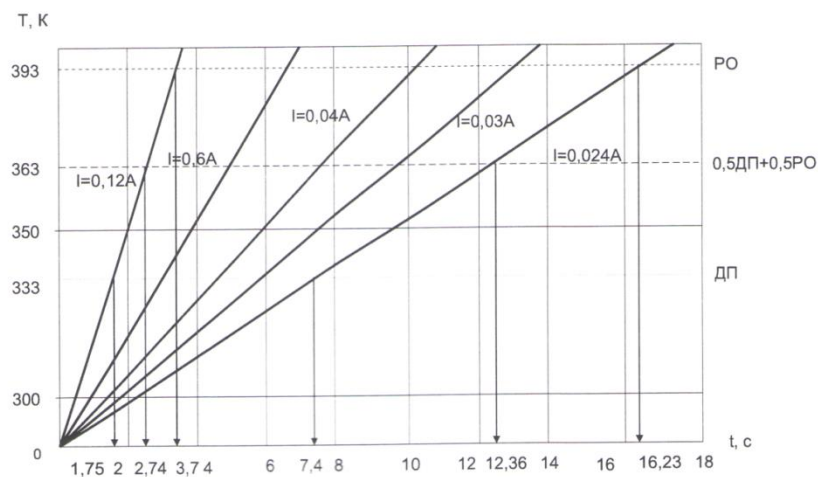


Рис. 4.1. Залежність часу виходу ТАВ на робочій режим від струму через ніхромовий НЕ для БП з різним вмістом ОРП в ДП.

Як видно з рис. 4.1., концентрація домішки ОРП в основному паливі внаслідок зміни теплопровідності БП впливає на час виходу ТАВ на робочій режим. Також можна стверджувати, що на точність вимірювання витрат БП за допомогою ТАВ впливають теплопровідність палива [2].

4.2. Принцип дії витратоміра, що пропонується

Високоточні вимірювання і контроль витрат палив (біопалив) є

складовою частиною сучасних енергозберігаючих технологій. Такі вимірювання необхідні при випробуваннях, експлуатації і ремонті транспортних засобів з ДВЗ. Використання нових палив, що отримані з альтернативної сировини та мають відмінні від нафтових фізико-хімічні властивості, висуває специфічні вимоги до засобів виміру їх витрати.

4.2.1. Калориметричний витратомір біопалива з підвищеною точністю виміру

Відоме різноманіття умов експлуатації автотранспорту передбачає врахування різних їх умов. Крім того, автотранспорт працює в умовах динамічних навантажень, тряски, вібрації, впливу агресії і широкого діапазону температур навколишнього середовища. Робота витратоміра, як приладу для вимірювання, в цьому випадку пов'язана не тільки із вказаними умовами, а також і з наявністю коливань, нестабільністю напруги живлення тощо.

Структурну схему розробленого калориметричного витратоміра підвищеної точності (КВПТ) для вимірювання витрат палив автомобільних ДВЗ (в тому числі й БП) наведено на рис. 4.2.

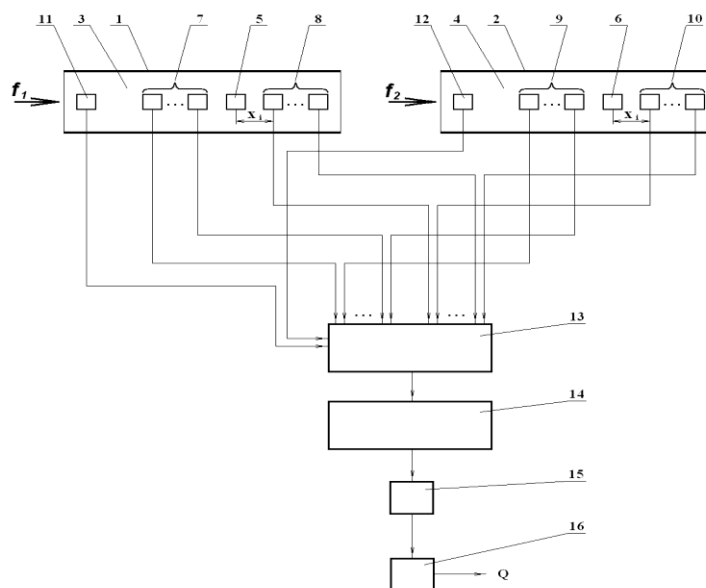


Рис. 4.2. Структурна схема КВПТ: 1, 2 - трубка прямого (ПП) та зворотного

потоків (ЗП) палива; 3, 4 - ПП та ЗП палива ; 5, 6 - нагрівачі ПП та ЗП палива; 7, 8 - групи ТП ПП; 9, 10 - групи ТП ЗП; 11, 12 - ТП ПП та ЗП палива; 13, 14, 15, 16 - блоки віднімання, логарифмування, лінійної апроксимації та обчислення витрати палива.

КВПТ палива включає в себе: трубку 1 з ПП 3 палива, в якому розміщений нагрівач 5 ПП, по різні сторони якого розташовані дві групи 7, 8 ТП ПП, в кожній з яких ТП ПП розташовані послідовно на заданих відстанях від нагрівача 5 ПП, поза зони дії якого розміщений ТП 11 ПП; трубку 2 із ЗП 4, в якому розміщений нагрівач 6 ЗП, по різні сторони якого розташовані дві групи 9, 10 ТП ЗП, в кожній з яких ТП ЗП розташовані послідовно на заданих відстанях від нагрівача 6 ЗП, поза зони дії якого розміщений ТП 12 ЗП; блоки 13 віднімання, 14 логарифмування, 15 лінійної апроксимації, 16 обчислення витрати палива.

Групи 7, 8 ТП ПП розташовані по різні сторони від нагрівача 5 ПП, причому ТП в цих групах розміщені послідовно один за одним на фіксованих відстанях x_i від нагрівача 5 ПП, $i = 1, \dots, N_1 + N_2$, де N_1 і N_2 - кількість ТП в цих групах. Групи 9, 10 ТП ЗП розташовані по різні сторони від нагрівача 6 ЗП. Їх розміщення аналогічно розміщенню груп 7, 8 ТП ПП.

Виходи кожної групи 7, 8 ТП ПП і кожної групи ТП 9, 10 ЗП, ТП 11 ПП і ТП 12 ЗП попарно підключені до входів блоку 13 віднімання, вихід якого підключений до входу блоку 14 логарифмування, вихід блоку 14 логарифмування підключений до входу блоку 15 лінійної апроксимації, вихід якого підключений до входу блоку 16 обчислення витрати палива. Вихід останнього є виходом всього пристрою.

КВПТ працює наступним чином. ПП 3 палива, витрату f_1 якого потрібно виміряти, протікає по трубці 1 вздовж ТП 11 ПП, нагрівача 5 ПП і дві групи ТП 7, 8 ПП. ЗП 4 палива, витрату f_2 якого також необхідно виміряти, протікає по трубці 2 вздовж ТП 12 ЗП, нагрівача 6 ЗП і дві групи ТП 9, 10 ЗП. Нагрівач 5 ПП і нагрівач 6 ЗП за рахунок електричної енергії від

джерела живлення підігрівають ПП 3 і ЗП 4 палива і створюють в них температурне поле. Значення температур в ПП 3 та ЗП 4 залежать від витрат палива f_1 і f_2 (швидкостей потоків), відстаней від нагрівачів 5, 6 до кожного ТП в групах 7, 8 ПП і 9, 10 ЗП палива і збільшуються (перед нагрівачем 5 ПП і 6 ЗП палива) або зменшуються (після нагрівача 5 ПП і 6 ЗП палива) за експоненціальними законами. При цьому за температурою палив, що фіксується групами ТП 7, 8 ПП і 9, 10 ЗП палива, можна визначити витрату палива в ПП 3 та ЗП 4 [4].

Результати вимірювання температур від груп ТП 7, 8 ПП і ТП 9, 10 ЗП палива та ТП 11 ПП і 12 ЗП палива надходять у блок віднімання 13, де обчислюється різниця температур попарно кожного із зазначених ТП для ПП 3 та ЗП 4 палива.

Виміряне значення витрати за наявності похибок у ПП 3 палива (паливо подяється з бака системи живлення ДВЗ):

$$f_1 = Q_1 + \Delta_{T_1} + \Delta_{CT_1} + \Delta_{\dot{N}I_1} + \Delta_{BT_1}, \quad (4.1)$$

де Q_1 - істинне значення витрати палива в ПП 3 палива;

$\Delta_{T_1}, \Delta_{CT_1}, \Delta_{\dot{C}I_1}, \Delta_{BT_1}$ - похибка температури, похибка сили тяжіння, струмопідводу, сили в'язкого тертя в ПП 3 палива, відповідно.

Виміряне значення витрати за наявності похибок у ЗП 4 палива (паливо повертається в бак):

$$f_2 = Q_2 + \Delta_{T_2} + \Delta_{CT_2} + \Delta_{\dot{C}I_2} + \Delta_{BT_2} \quad (4.2)$$

де Q_2 - істинне значення витрати палива в ЗП 4 палива;

$\Delta_{T_2}, \Delta_{CT_2}, \Delta_{\dot{C}I_2}, \Delta_{BT_2}$ - похибка температури, похибка сили тяжіння, струмопідводу, сили в'язкого тертя у ЗП 4, відповідно.

Оскільки кількість палива, що надходить в ДВЗ (витрата) - це різниця (1) і (2), а витрата палива в ПП 3 завжди більше, ніж у ЗП 4 (двигун споживає паливо, зайве паливо повертається в бак), або дорівнює їй (двигун не працює,

все паливо повертається в бак), сумарні похибки (температурна, сили тяжіння, струмопідводу, сили в'язкого тертя) при роботі двигуна завжди зменшуються. Витрата палива безпосередньо двигуном становить:

$$Q = f_1 - f_2 = Q_1 - Q_2 + \Delta_{T_1} - \Delta_{T_2} + \Delta_{CT_1} - \Delta_{CT_2} + \Delta_{CI_1} - \Delta_{CI_2} + \Delta_{BT_1} - \Delta_{BT_2} \quad (4.3)$$

Як видно з (4.3), в результаті отримання різниці, має місце зменшення температурної похибки, похибки від сили тяжіння, струмопідводу, сили в'язкого тертя, і таким чином, - зменшення сумарної похибки вимірювання витрати палива.

Графічна залежність між температурою $T(x)$ в заданій точці потоку палива і відстанню x цієї точки до нагрівача наведені в [4]. Блок 15 лінійної апроксимації на основі даних блоку 14 логарифмування, проводить апроксимацію залежності, наданої блоком 14 логарифмування. Блок 16 обчислення витрати палива визначає поточні значення швидкості потоку палива і, відповідно, його витрата, з урахуванням конструктивних даних, наприклад, перерізів трубок 1, 2. Значення об'ємної і масової витрати палива отримують на основі формул [4, 5].

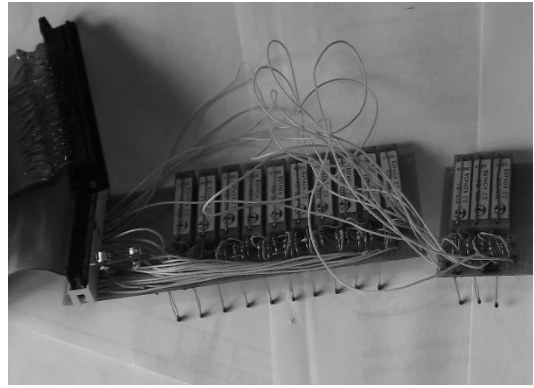
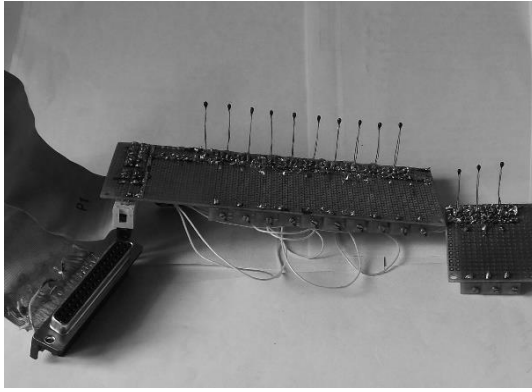
Для перевірки працездатності КВПТ, створений і досліджений його діючий макет. В якості трубок 1, 2 були використані металеві трубки діаметром 20 мм і довжиною 400 мм. В якості джерела живлення використовували блок живлення постійного струму Б5-47 з вихідною напругою 12 В. Нагрівачі 5, 6 були виготовлені з дроту високого опору (ніхром - Х20Н80) у вигляді циліндричних котушок. У макетному зразку було використано за сім ТП в кожній з груп 7, 8 і 9, 10 для кожної трубки 1, 2. В якості цих ТП і ТП 11, 12 застосовували транзистори КТ342, в яких змінюється струм колектора при зміні температури в ПП 3 та ЗП 4 палива. Відстань від нагрівача до першого ТП в групі дорівнювала 3 см, до останнього - 8 см (для обох трубок 1, 2). ТП в групі були розташовані послідовно один за одним з рівним кроком між сусідніми термоперетворювачами. Характеристики КВПТ досліджувалися на діючому

макеті для діапазону витрат палива ДВЗ, що працює на різних швидкісних і навантажувальних режимах. Для досліджень використовувалося дизельне паливо за ГОСТ 3868-99 «Паливо дизельне. Технічні умови».

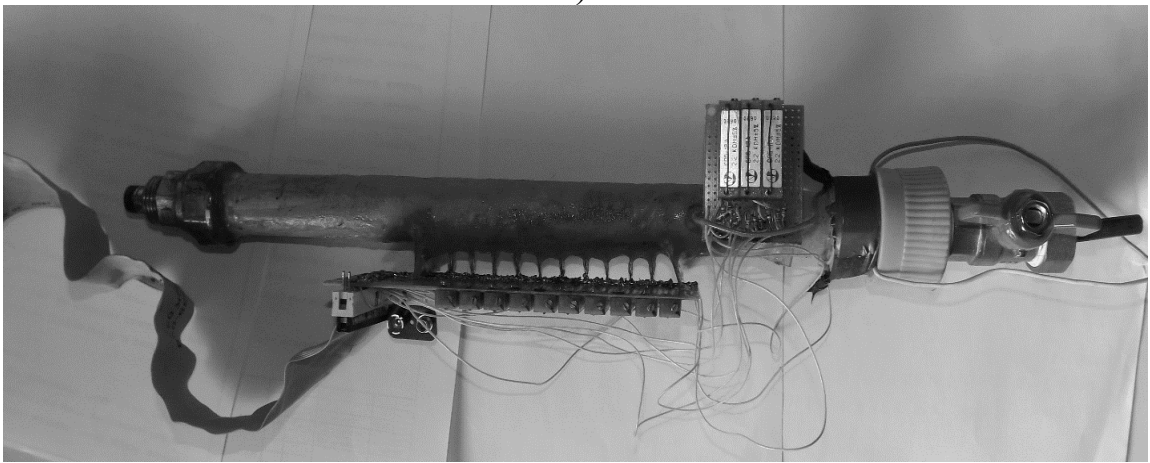
Для дослідження можливості використання і визначення точності вимірювання витрати палива спочатку вимірювали витрату палива трубою 1, яка встановлювалася у ПП 3 палива, а кількість палива, що надходило в бак через систему зворотного зливання палива в бак (лінію повертання палива), визначено об'ємним способом за допомогою мірної колби. Далі використовували дві трубки 1 і 2, які встановлювалися в ПП 3 і ЗП 4 палива. У результаті досліджень встановлено, що похибка вимірів витрат палива витратоміром з трубками для ПП 3 та ЗП 4 в порівнянні з витратоміром з однією трубою для ПП 3 зменшилася на 12-19 %.

Для налагодження і тарування ТАВ була створена спеціальна установка. Вона має в своєму складі: блок живлення вимірювальних мостів, бак для палива, насос, мірний циліндр, аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) та персональний комп'ютер.

В теплових витратомірах в більшості випадків в якості НЕ використовується ніхромової спіраль, що й було використано в даній конструкції витратоміра. У витратомірі в якості чутливих елементів використано термістори NTC 2K2 1% 50 мВт ДСТУ 2815-94. З термісторів сигнал передається на АЦП L-Card E14-440, а далі на зовнішній аналоговий порт DRB-37М персонального комп'ютера. АЦП має можливість одночасно передавати сигнали по 16-ти каналах з дискретою напруги $0,1 \cdot 10^{-3}$ В, що дає задовільну точність виміру. Додатково було проведено комп'ютерне моделювання роботи витратоміра засобами CFD-комплексу COSMOSFloWorks. Порівняння результатів доводить, що розбіжність експериментальних даних і даних комп'ютерного моделювання можлива внаслідок різних коефіцієнтів теплопровідності ДП (БП) та їх інших властивостей, що задаються в комп'ютерній моделі.



а)



б).

Рис. 4.3. ТАВ: а) вимірювальні мости; б) витратомір в сборі

Обробка інформації виконується програмними засобами LGraph2 та PowerGraph, які реєструють та зберігають в реальному часі дані «напруга-час», які потім перетворюються у вигляд «температура-час». На основі розподілу температур чутливих елементів визначається швидкість потоку та, відповідно, витрата палива.

Тарування каналів витратоміра, отримання масиву даних «температура-напруга» проводилося для ДП та для БП.

Апаратна частина ТАВ складається з двох трубок, що встановлюються на прямій та зворотній магістралях системи живлення двигуна автомобіля, через які проходить паливо (відповідно, що згоряє та що повертається в паливний бак), двох АЦП, блока отримання та обробки інформації.

В трубках розміщуються НЕ кулькоподібної форми, що складаються з резистора, який встановлений всередині свинцевої кульки. В якості ТП використано 13 термисторів марки NTC 2K2 50 мВт, розташованих від НЕ вздовж осі трубки з кроком 1 см. Така кількість термісторів та їх взаємне розташування обумовлено забезпеченням необхідної точності виміру витрат палив (БП) в широкому діапазоні швидкостей їх потоку через трубку витратоміра.

Електричний сигнал з ТП подається на вимірювальні мости, які в процесі виготовлення трубок з НЕ та ТП попередньо було таровано.

Електричні плати з вимірювальними мостами змонтовано в трубках, виводи термисторів загерметизовано. Дана конструкція приєднується до АЦП через зовнішній аналоговий порт DRB-37М персонального комп'ютера.

Крім програмного забезпечення LGraph2 і PowerGraph для переходу в координати «температура-час» також передбачається використання програмного забезпечення Registrator Viewer для отримання даних швидкості автомобіля, прискорення, пройденої відстані. На основі зазначених даних можна отримати інформацію саме про витрату палива (БП) на різних режимах руху автомобіля (рис. 4.4.).

Перевірка працездатності витратоміра проводилася на автомобілі Citroen Berlingo (двигун DW8, 1868 см³, 2006 року випуску, кузов VF GCWJYB94223246, пробіг з початку експлуатації 184600 км). Перед проведенням вимірювань автомобілю було виконано технічне обслуговування № 2.

Витрата палива вимірювалася під час руху з постійною швидкістю на прямій передачі і реєструвалася за допомогою ТАВ та об'ємним способом. Швидкісний режим контролювався водієм за штатним спідометром і становив 50, 60 і 70 км/год. Було проведено по 10 заїздів на кожному швидкісному режимі в двох напрямках. Робота програмного



Рис.4.4. Работа програмного забезпечення Registrator Viewer TAP

Відносна похибка витрат, визначених за допомогою ТАВ і об'ємним способом, не перевищувала 0,5 %.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Розроблено конструкцію термоанемометричного витратоміра підвищеної точності виміру витрат палива для автомобілів, що мають сучасні системи живлення двигуна. Показано, що даний витратомір може бути використаний для двигунів з системами зворотного зливу палива в бак (лініями повернення палива) і має підвищену точність вимірювання витрати палива на 12-19 % порівняно з відомими термоанемометричного витратоміра.

2. Створено експериментальний зразок ТАВ моторних палив (БП) для двигунів внутрішнього згоряння, проведено його налаштування, тарування і перевірена працездатність в реальних умовах експлуатації.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз існуючих конструкцій витратомірів з точки зору

можливості їх використання на автомобілях з дизельними двигунами, що працюють на біопаливах.

2. Отримано розподіл температур в трубці термоанемометричного витратоміра в радіальному та осьовому напрямках для різних біопалив та різних їх витрат, що дозволить врахувати особливості протікання процесів теплопередачі і, в кінцевому рахунку, дозволить підвищити точність виміру витрат вказаних палив.

3. Запропоновано схемне рішення термоанемометричного витратоміра, виконано його макетний зразок, проведено його тарування та налагодження до подальшого застосування. Дослідження макетного зразка термоанемометричного витратоміра під час роботи на автомобілі Citroen Berlingo показало, що відносна похибка витрат, визначених за його допомогою і об'ємним способом, не перевищує 0,5 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. Багінський О.О. Визначення параметрів руху дизельного палива в двосекційному термоанемометричному витратомірі / О.О. Багінський, А.В. Ільченко // Тези XIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», - Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020, <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/11/4.pdf>
2. Ахромов О. М. Перспективи застосування БП в сучасних автомобільних ДВЗ. Статті доповідей. - 2011. - С. 28.
3. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний: ГОСТ 20306 - 90. - [введен с 01.01.1992]. - М.: Изд-во стандартов,-1994.-34с.
4. Адаменко О. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії: Монографія / О. Адаменко, В. Височанський, В. Лютко, М. Михайлів. -Івано-Франківськ: Полум'я, 2000. - 270 с. : табл.
5. Васильев И. П. Влияние топлив растительного происхождения на

- экологические и экономические показатели дизеля: монография / И. П. Васильев. - Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2009. - 240 с.
6. Весы электронные настольные универсальные ВМ 2/3, ВМ 2/6, ВНУ 2/15-1. Инструкция по ремонту и настройке (модельный ряд 2001). - М.: Предприятие МЕРА, 2001. - 36 с.
7. Войтов В. А. Техніко-експлуатаційні та екологічні показники дизельних двигунів при застосуванні біодизеля / В. А. Войтов, М. С. Данченко, М. В. Карнаух // Техніка і технологія АПК. - 2009. - № 1. - С. 13 - 18.
8. Гершнин И. И. Многотопливные дизели / И. И. Гершнин, А. П. Лебединский. - М.: Машиностроение, 1971. - 224 с.
9. Головчук А. Ф. Біодизельне паливе ріпакового походження А. Ф. Головчук, А. В. Зайцев, О. С. Пушка // Збірник наукових праць Уманського державного аграрного університету. - 2004. - Вип. 58. - С. 122 - 128.
10. Корпач А. О. Вплив біодизельного палива на паливно-економічні, енергетичні та екологічні показники вантажного автомобіля з дизелем / А. О. Корпач, О. О. Левківський, Б. Ф. Кочирко // LXIX науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету. Тези доповідей. - 2013. - С. 20.
11. Корпач А. О. Можливості та перспективи використання біопалива в дизелях / А. О. Корпач, О. О. Левківський // Автошляховик України. Окремий випуск.-2009.-№12.-С. 156-158.
12. Корпач А. О. Оцінка ефективності роботи автотракторного дизеля на метиловому ефірі ріпакової олії / А. О. Корпач, О. О. Левківський // Автошляховик України. Вісник центрального наукового центру транспортної академії України. Окремий випуск. - 2011. - №14. - С. 25-28.
13. Лютко В. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / В. Лютко, В. Н. Луканин, А. С. Хачиян - М.: Изд-во МАДИ, 2000. - 311 с.