

УДК 621.317

<sup>1</sup>О.М. Безвесільна, д.т.н.  
<sup>2</sup>Ю.О. Шавурський

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНОГО ВИТРАТОМІРУ БІОПАЛИВА

<sup>1</sup>Національний технічний університет України "КПІ"

<sup>2</sup>Житомирський державний технологічний університет

*В статті наведено відомості щодо експериментальних досліджень нового термоанемометричного витратоміра.*

**Ключові слова:** термоанемометр.

### Вступ

У відомій літературі [1 та інш.] зроблено висновок, що одним з найбільш досконалих з усіх різновидів витратомірів є термоанемометричний витратомір (ТАВ). Однак, відомі термоанемометричні витратоміри мають недостатню точність (3-6 %) та швидкодію (не автоматизовані).

У роботі [2] запропоновано новий ТАВ, який більш точний (1,5%) та повністю автоматизований.

Однак, у літературі [1 та інш.] не наведено відомості щодо експериментальних досліджень нового ТАВ.

**Мета даної статті** – навести відомості щодо експериментальних досліджень нового ТАВ.

### Розробка програмно-апаратного комплексу на основі ЕОМ для експериментальних досліджень нового витратоміру

В умовах експлуатації, у більшості випадків, якщо не прийнято спеціальних заходів, результат вимірювання ТАВ є функцією декількох величин (температури навколишнього середовища, електричних завад та інш.). Найбільшим є вплив температури навколишнього довкілля [44]. Звести цей вплив до мінімуму можна шляхом використання аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Цифрові методи мають більш високу точність та швидкодію вимірювання, ніж аналогові.

Для експериментального визначення витрати біопалива термоанемометричним витратоміром створено пристрій, який складається з термоанемометра і додатково введенного АЦП сигналів, лічильника витрати біопалива і ЕОМ.

Апаратну частину комплексу представлено на рис. 1 у вигляді чутливого елемента (ЧЕ), термоанемометру (ТАВ), який складається з трубки 3, що є основою приладу, нагрівального елемента 1. В ЧЕ входять три термодатчики 4.

За основу нового термоанемометра взято високоточний витратомір моторного палива з цифровою обробкою вимірювальної інформації містить трубку 1 з потоком 2 моторного палива, нагрівач 3, джерело 4 енергії, перший 5, другий 6 та третій 7 термоперетворювачі, нейропроцесор 8, блок 9 перемикачів та ЕОМ 10.

До входу нагрівача 3, що розміщений у потоці 2 моторного палива, підключено вихід джерела енергії 4.

Перший термоперетворювач 5 розміщений безпосередньо на нагрівачі 3, а другий 6 і третій 7 термоперетворювачі розміщені у потоці 2 моторного палива послідовно один за одним на фіксованих відстанях  $l_1$  і  $l_2$  від першого термоперетворювача 5.

Виходи першого 5, другого 6 і третього 7 термоперетворювачів підключені відповідно до першого, другого та третього входів нейропроцесора 8, четвертий вхід якого з'єднаний з виходом блоку 9 перемикачів. Вихід нейропроцесора 8 з'єднаний з входом ЕОМ 10, перший вихід якої підключено до входу блоку 9 перемикачів, а її другий вихід є виходом всього пристрою.

В електричну схему нового термоанемометра (рис. 2) додатково введено елементи: перемикачі на основі узгоджувальної мікросхеми К572ПВ5 (ICL7106), рідко кристалевий дисплей ИЖКЦ5-4/8, джерело живлення з блоком живлення, схема коригування 7 (комутатор) КР590КН6 (ADG508), електронно-обчислювальна машина (персональний комп'ютер) з програмою для обробки інформації щодо витрати біопалива та відображення графіків.

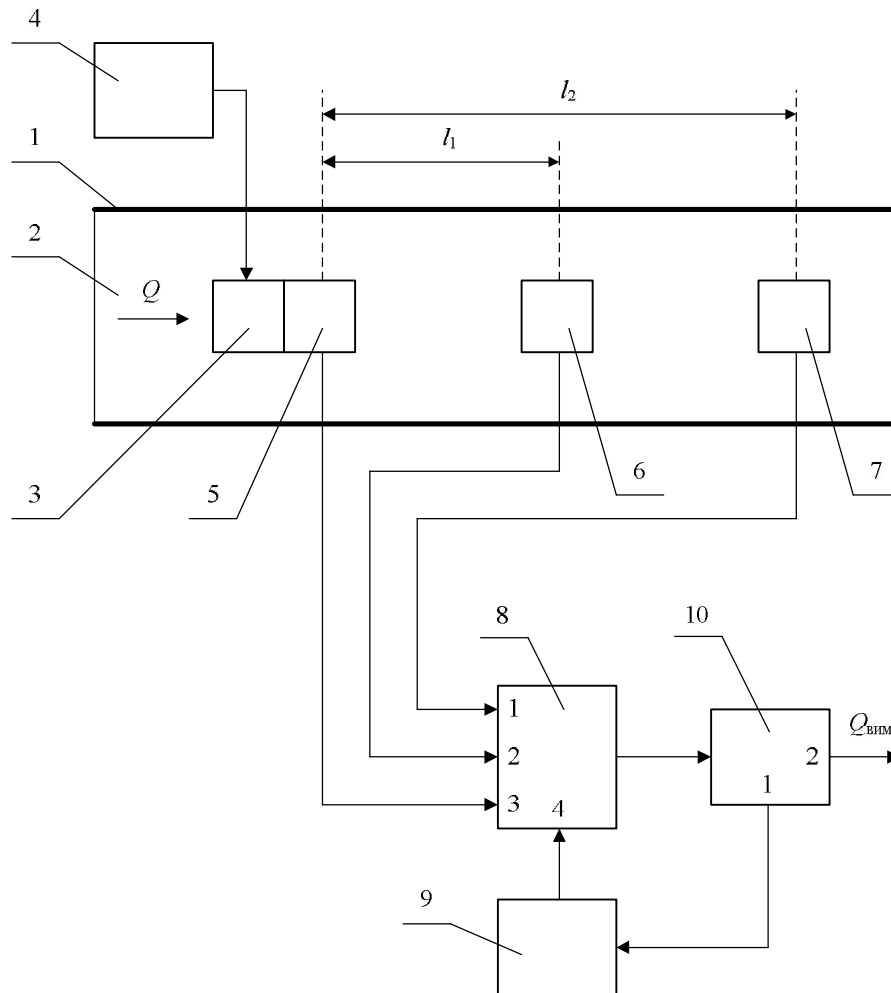


Рис. 1. Блок - схема приладу

В якості датчиків температури використовуються транзистори КТ342 (рис. 2), в яких використовується залежність зміни напруги на р-п переході від температури. Напруга на датчику становить приблизно 2 мВ. Температурний режим роботи становить від 0 до 150 °С.

Підстроювальні резистори включено у мостову схему. Мостову схему підключено до диференціального підсилювача 5, що дає можливість вимірювати різницю між напругами у мостовій схемі.

Підстроювальний резистор R6 використовується для виставки нуля (тарування), а резистор R12 для виставлення 100°С.

З виходу диференційного підсилювача 5 сигнал поступає на два вузла (рис. 2). Перший вузол – перетворювач каналового сигналу в цифровий код схеми сегментного індикатора 2. Другий вузол: ЕОМ 9, узгоджувальна схема 10; узгодження сигналу з виходу диференціального підсилювача з входним сигналом ЕОМ, щоб максимальна величина напруги 1 В відповідала максимальній потрібній температурі.

В якості перетворювача аналогового сигналу в цифровий код в ЕОМ використовується лінійний вхід звукової карти на лівий канал. Звукова карта дає можливість оцифрувати і записувати сигнал у вигляді WAV формату.

### Принцип дії нового термоанемометричного витратоміру

Високоточний витратомір моторного палива з цифровою обробкою вимірювальної інформації працює таким чином.

Потік 2 моторного палива (рис. 1), витрату  $Q$  якого потрібно вимірювати, протікає по трубці 1 повз нагрівач 3, перший 5, другий 6 і третій 7 перетворювачі. Нагрівач 3 за рахунок надходження енергії від джерела 4 енергії підігріває потік 2 моторного палива та створює в ньому температурне поле.

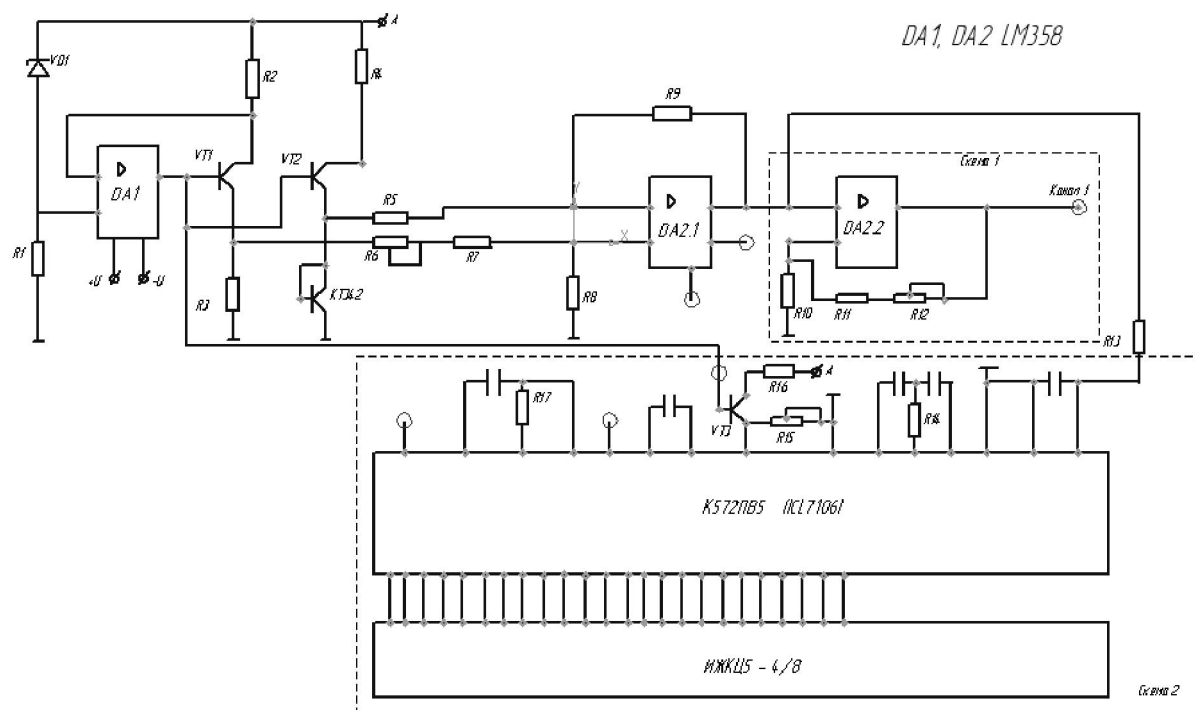


Рис. 2. Електрична схема

Величина температури в цьому полі зменшується із збільшенням відстані від нагрівача 3. Причому, температура нагрівача 3, що фіксується першим термоперетворювачем 5, обернено пропорційна витратам моторного палива. Зменшення температури в температурному полі, що фіксуються другим 6 і 7 термоперетворювачами, також обернено пропорційні величині витрат моторного палива. Вказані значення температур також залежать від фізико-хімічних властивостей (густина, теплопровідність та кінематична в'язкість) моторного палива, що протікає в трубі 1.

Значення температурного поля на нагрівачі 3 та в потоці 2 моторного палива, що зафіксовані першим 5, другим 6 і третім 7 термоперетворювачами, надходять в нейропроцесор 8. Нейропроцесор 8 виконує обробку часових послідовностей цих значень з метою компенсації динамічних похибок. Ці похибки виникли внаслідок інерційності першого 5, другого 6 і третього 7 термоперетворювачів при зміні величини поточних витрат моторного палива.

Параметри алгоритмів обробки значень температури, що реалізовані в нейропроцесорі 8, можуть корегуватись в залежності від зміни фізико-хімічних властивостей моторного палива, витрати якого вимірюються. Це здійснюється шляхом введення оператором в ЕОМ відомостей про властивості поточного виду моторного палива та навчання штучної нейронної мережі (на схемі не показана) в нейропроцесорі 8. В процесі навчання використовуються тестові сигнали вимірювальної інформації, що поступають на четвертий вхід нейропроцесора 8 з блоку 9 перемикачів під управлінням ЕОМ 10. Корекція параметрів алгоритмів обробки значень температури забезпечує врахування фізико-хімічних властивостей поточного виду моторного палива і, на цій основі, більш точну корекцію динамічних похибок вимірювань витрат.

Значення температури в потоці 2 моторного палива з урахуванням компенсації динамічних похибок надходять з винаходу нейропроцесора 8 на вхід ЕОМ 10. ЕОМ 10 перераховує ці значення у поточну величину витрат моторного палива та видає результат вимірювань витрат  $Q_{\text{вин}}$  на свій другий вихід, що є виходом всього витратоміру. Для перерахунку використовуються залежності, наведені в [1, 2].

В ЕОМ 10 оператором може вводиться додаткова інформація про поточний вид моторного палива та його фізико-хімічні властивості. В залежності від цього, ЕОМ 10 корегує параметри алгоритмів перерахунку значень температури у поточну величину витрат моторного палива. В результаті, забезпечується більш точний перерахунок і, як наслідок, підвищується точність витратоміру.

ЕОМ 10 також виконує операції накопичення, аналізу та зберігання вимірювальної інформації про поточні витрати моторного палива, що фіксуються витратоміром.

Для перевірки працездатності ТАВ було створено та досліджено його діючий макет. Було використано: джерело енергії 4 – двополярний блок живлення постійного струму з напругою 12 В; нагрівача 5 – циліндрична котушка, виготовлена з ніхромового дроту прецизійних сплавів з високим електричним опором ("ніхром" - Х20Н80); перший 5, другий 6 і третій 7 термоперетворювачі - транзистори КТ342.

### **Калібрування та експериментальне визначення точносних характеристик розробленого витратоміру**

Для отримання експериментальних даних, необхідних для визначення витрати палива термоанемометричним витратоміром, використано біопаливо. Додатково введено ЕОМ, і лічильник.

Для подальшої роботи приладу потрібно зробити його калібровку. Для цього всі датчики (транзистор КТ342) для подальшого під'єднання перевірено на точність маркування за допомогою блоку живлення постійного струму. Для цього з'єднано базу з емітером і пропущено постійний струм. На виході з емітера знято необхідні показники.

Вибрані транзистори в якості датчиків розміщено в термоанемометричній трубці і підключено на вхід підсилювача через перемикачі 1-6 в необхідному порядку, як показано на рис. 3.

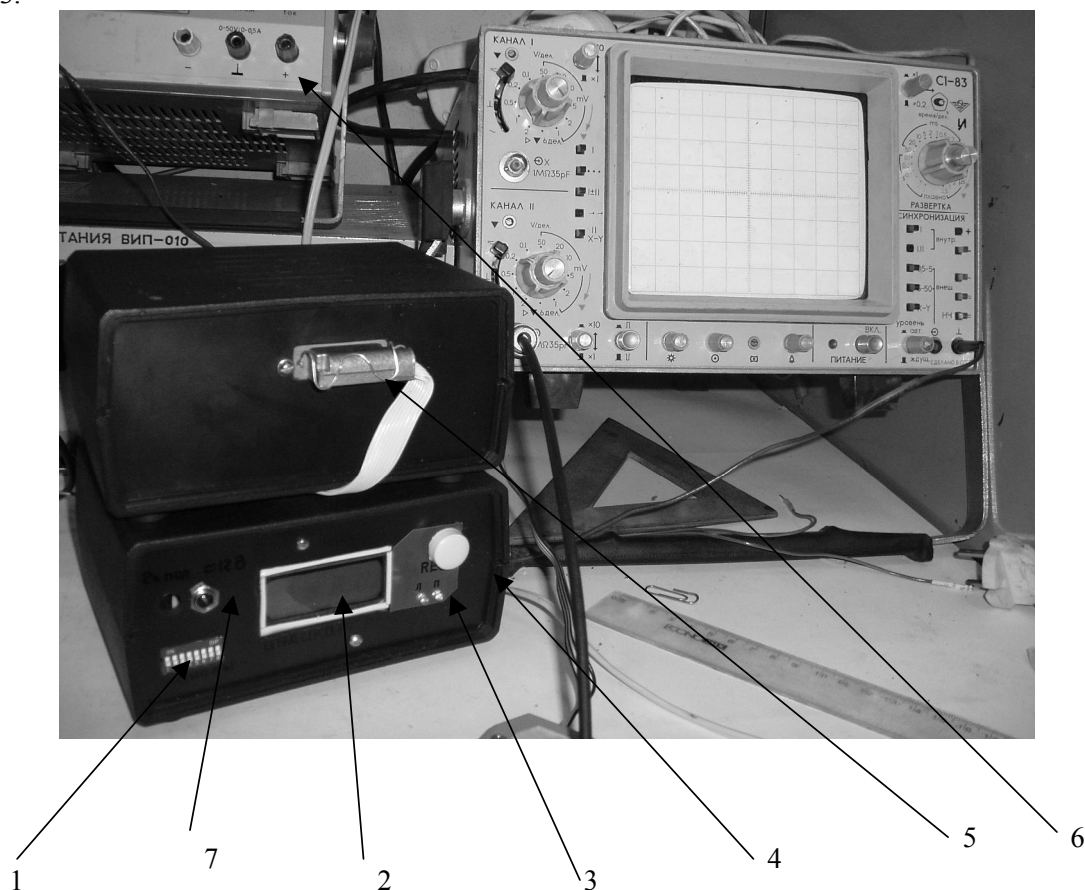


Рис. 3. Програмно-апаратний комплекс ТАВ

Далі ТАВ підключено до акумуляційної батареї (АКБ). В даному випадку для тарування був використаний двополярний блок живлення 6. Необхідно було впевнитись: чи з'єднано два корпуси роз'ємом 5, який живиться струмом від АКБ. Повинні засвітитись два індикатора (світлодіоди) 3 зеленого кольору (лівий, правий), які показують правильність з'єднання та роботу двополярного блока живлення, вмонтованого в середині корпуса.

Після підключення до ІЖКЦ першого корпусу повинно показуватися число 1, тобто початок роботи. Для подальшої роботи вибираємо датчик за допомогою перемикача 1 і налаштовуємо його роботу.

Під час градування, обмежуємось кількістю експериментальних точок, необхідною для інтерполяційного визначення параметрів приладу.

У цьому випадку, невідомі параметри  $A$  та  $B$  розраховуємо, забезпечуючи проходження характеристики через три точки. Контрольні вимірювання проводяться з певною точністю, їх результати включають інструментальну похибку вимірювання. Тому температурна характеристика ніхромового термоперетворювача, визначена за трьома точками, не завжди забезпечує адекватне відтворення температурної залежності датчиків в функції від  $0-180^{\circ}\text{C}$ .

$$W_t = 1 + At + Bt^2. \quad (1)$$

Іноколи необхідно враховувати деякі технологічні вимоги. У разі проектування ТАВ нульове значення величини сигналу прив'язують до якоїсь конкретної точки шкали (певного значення вимірювальної величини). Для реалізації цієї технологічної вимоги необхідно прив'язуватись до будь-якого з термоперетворювачів, який забезпечує точне відтворення цього значення. Похибка такої моделі в точці, що відповідає цьому значенню величини сигналу, повинна дорівнювати нулю.

В електричній схемі рис. 2 є два корегувальних резистори  $R_3$  і  $R_6$ , одним з яких  $R_3$  налаштовуємо температуру на  $0$ . Не змінюючи показників всіх інших термоперетворювачів відносно нуля, переходимо на корегування другого резистору  $R_6$ , яким налаштовуємо температуру до  $100^{\circ}\text{C}$ . Для того щоб впевнитись, чи синхронно налаштовано всі датчики, користуємося осцилографом, яким фіксуємо всі показники на одному діапазоні.

Використання такого способу, дозволяє визначити можливу похибку вимірювання при змінах в діапазоні температури  $0-180^{\circ}\text{C}$ . Похибка складає  $0,2\%$ .

Налаштовані термоперетворювачі поміщаємо в мідну трубку довжиною  $30\text{ см}$  і діаметром  $15\text{ мм}$ . Закріплюємо їх таким чином, щоб не було просочування через мікро щілини. В трубці розташуємо ніхромовий дріт, обмотаний на мідному стрижні. Трубопровід обгорнемо термоізоляцією від впливу навколишнього середовища по всій довжині.

Тепер, коли повністю підготовлено і налаштовано ТАВ, перевіряємо його роботу на практиці з розчином (біопаливо, вода), і знімаємо усі показники з програми, яка автоматично виводить графіки на екран рис. 4.

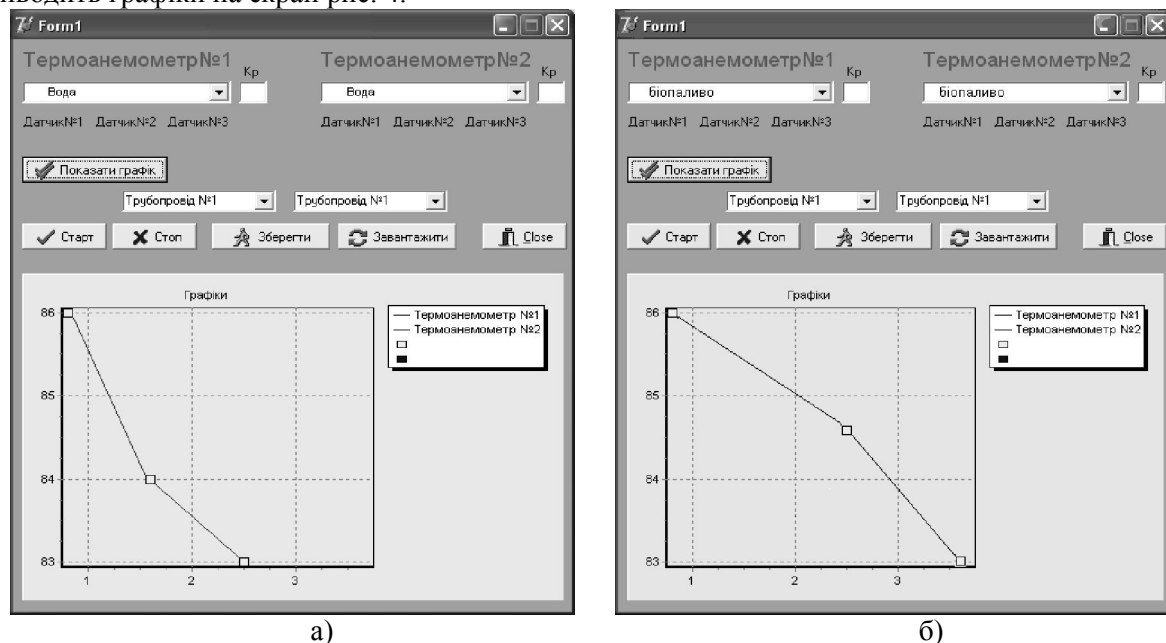


Рис. 4. Вікно комп'ютерної програми виведення результатів вимірювань:  
а) для води; б) для біопалива

Також під час роботи ми можемо бачити на ІЖКЦ 2 (рис. 2): як змінюється температура на кожному з термоперетворювачів. За допомогою перемикача 1, вмикаємо вручну кожний з термоперетворювачів окремо. Повторимо весь останній вищенаведений експеримент з біопаливом, отримаємо результат на рис. 4 б.

Висновок: при роботі ТАВ на біопаливі, похибки вимірювань ТАВ не перевищують  $0,2\%$ .

### Результати впровадження розробленого витратоміру для вимірювань витрати палива

Після того, як ми провели налаштування ТАВ, відкорегували його, ТАВ можна використовувати на агрегаті двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) з використанням біопалива рис. 5. Для цього потрібно з'єднати елементи двигуна з ТАВ. Закріплюємо ТАВ жгутом у корпусі відсіку двигуна, ізолюємо всі електричні елементи, щоб уникнути короткого замикання.

Коротке замикання (КЗ) може виникнути в результаті порушення ізоляції частин обладнання, що проводять струм і зовнішніх механічних пошкоджень в електричних дротах, монтажних дротах, обмотках двигунів і апаратів. Ізоляція елементів, що проводять струм може пошкоджуватися при дії на неї високої температури або полум'я, інфрачервоного випромінювання, переходу напруги з первинної обмотки силового трансформатора на вторинну, при підвищених режимах навантаження (нагрів до високих температур, і, як наслідок, при охолодженні конденсується вода).

З табл. 1 вибираємо необхідну ізоляцію для конкретного провідника.

Струми КЗ можуть перегріти частини, що проводять струм і розплавити дроти (температура до 20000 °С). Протікання по провіднику тривалого допустимого струму силою  $I$  пов'язано з виділенням тепла  $Q$  (Дж), і кількісно визначається законом Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R t,$$

де  $I$  - сила тривалого припустимого струму, А;

$R$  - активний опір, Ом;

$t$  - час, с.

Шланг з паливного насоса приєднуємо до трубопроводу. На виході з трубопроводу кріпимо лічильник, через який паливо буде поступати в двигун.

Всі значення показників будемо знімати на ЕОМ.

Таблиця 1.

Ізоляційні матеріали

Марка провідника	Характеристика ізоляції	Клас	Виготовлені розміри (з міді), мм
	<i>///. Комбінована</i>		
ПЭЛБО	Лакостійка емаль та 1 шар хлопко-паперової обмотки..	A	0,2—2,1
ПЭЛБД	Лакостійка емаль та 2 шари хлопко-паперової обмотки..	A	0,72—2,1
ПЭЛШО	Лакостійка емаль та 1 шар шовкової обмотки <sup>1</sup> .....	A	0,05—2,1
ПЭЛШД	Лакостійка емаль та 1 шар шовкової обмотки.....	A	0,86
ПЭВШО	Емаль високоміцна та 1 шар шовкової обмотки.....	A	0,07—0,51
ПЭТСО	Теплостійка емаль та 1 шар скляної обмотки.....	B	0,38—1,81
ПЭТКСО	Термостійка кремнійорганічна емаль та 1 шар скляної обмотки.....	H	0,38—1,56
	<i>IV. Багатожильний провідник</i>		
ЛВОО	Провідник, закручений з декількох мідних провідників і провальцьований, ізолювання 1 шаром хлопко-паперової обмотки і однією хлопко-паперовою обгорткою.....	A	(2,8—12,5)X(1,6—8,0)
ЛВДО	Те ж саме, ізолювана двома шарами хлопко-паперовою обмоткою та однією хлопко-паперовою обгорткою.....	A	(2,8—12,5)X(1,6—8,0),

Під час роботи двигуна (рис. 6), проходить багато процесів, які можуть впливати на витрату пального. Кут повороту дросельної заслінки, частота обертання колінчатого вала двигуна, тиск у впускному трубопроводі – ці три фактори впливають на витрату пального. Електричний блок керування, отримуючи сигнали від датчика тиску у впускному трубопроводі, корегує склади робочої суміші залежно від режиму роботи двигуна. Система має регулятор холодного ходу з кроковим електродвигуном і пристрій контролю за розпиленням палива, в якій підводяться пари палива з бака. Центральний вузол впорскування має в своєму складі електромагнітну форсунку, регулятор тиску, регулятор холостого ходу з кроковим електродвигуном, дросельну заслінку з потенціометром.



Рис. 5. ТАВ на агрегаті двигуна внутрішнього згорання

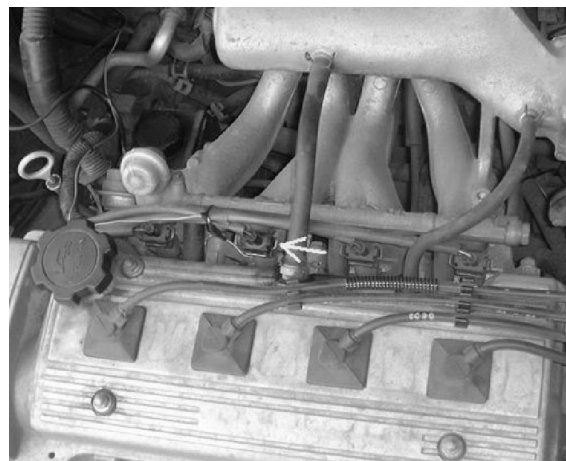


Рис. 6. Загальний вигляд дизельного двигуна внутрішнього згорання

Впорскування дає змогу використовувати більше перекриття клапанів для кращого продування камери згорання чистим повітрям, а не сумішшю. Внаслідок кращого продування і більшої рівномірності складу суміші в циліндрах, і знижується температура стінок циліндрів, днищ поршнів і випускних клапанів. Це, в свою чергу, дає змогу зменшити потрібне октанове число на 2 – 3 одиниці, тобто – підвищити ступень стискання без загрози детонації. Крім того, знижується утворення оксидів азоту під час згорання палива, поліпшуються умови мащення дзеркала циліндра.

Даний розроблений ТАВ забезпечує вимірювання палива з похибкою не більше 0,2%. Це значно покращить показання умови роботи двигуна порівняно з його роботою на дизельному паливі, забезпечить менші витрати біопалива ніж на дизельному паливі, зменшить викидання шкідливих речовин у навколишнє середовище.

### Висновок

Проведеними експериментальними дослідженнями нового ТАВ підтверджено, що його точність вище (0,2%) од відомих (3-6%), а швидкодія значно вище (повністю автоматизований) от відомих (не автоматизовані).

### Список літературних джерел

1. Витратометрія. Підручник. З грифом МОНУ. О.М. Безвесільна, Ф.Я. Загавура, – К.: Либідь, 1996.-184с.
2. Безвесільна О.М., Подчашинський Ю.О., Шавурський Ю.О. Високоточний витратомір моторного палива з цифровою обробкою вимірювальної інформації. Патент на винахід №91160 від 25.06.2010р. по заявці на винахід №a2009 06515 від 22.06.2009 р.
3. Безвесільна О.М., Шавурський Ю.О., Подчашинський Ю.О., Ільченко А.В. Калориметричний витратомір моторного палива з цифровою обробкою вимірювальної інформації. Патент на винахід №90985 від 10.06.2010 р. По заявці на винахід №a 2009 10565 від 19.10.2009р.