

## ТРАНСПОРТ

УДК 681.2

**О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.***Національний технічний університет України «КПІ»***Ю.О. Шавурський, асист.***Житомирський державний технологічний університет***ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ВИТРАТОМІРІВ АВТОМОБІЛЬНОГО  
БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА**

*В статті сформульовано основні вимоги до вимірювання витрат палива за допомогою високоточного комп'ютеризованого витратоміру. Визначено основні відмінності фізико-хімічних властивостей біодизельного палива, що впливають на роботу витратоміра. Запропоновано використання термоанемометричного методу та пристрою для вимірювання витрат такого палива.*

**Постановка проблеми.** В даний час до витратомірів в основному висувуються дві групи вимог. До першої групи належать метрологічні вимоги щодо приладів для вимірювання витрат палива: висока точність і надійність, незалежність результатів вимірювання від зміни щільності речовини, швидкодія і значний діапазон вимірювання. До другої групи належать вимоги, які характеризують умови експлуатації витратомірів палива: необхідність вимірювання витрати дуже різноманітної номенклатури речовини при властивостях, що відрізняються, вимірювання різних значень витрат від дуже малих до дуже великих і при різному тиску і температурах.

Всі ці умови впливають на точність вимірювань. Тому важлива проблема при розробці витратоміра – врахування умов експлуатації та особливостей вимірюваної рідини і на цій основі підвищення точності визначення витрат палива автомобіля.

**Аналіз досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми і на які спирається автор.** З аналізу літератури [1–19] визначено існуючі групи вимог до витратомірів палива:

1. Вимога високої точності вимірювання – одна з основних вимог, що висувуються до витратомірів, лічильників і дозаторів. Якщо раніше похибка вимірювання в (1,5...2) % вважалася нормальною, то в даний час вона повинна бути не більш ніж (0,2...0,5) %.

2. Вимога надійності – прилад повинен безперервно і справно працювати в різних умовах атмосферного тиску, в умовах перепаду тиску, температур, а також в умовах вібрації.

3. Незалежність результатів вимірювання від зміни густини та в'язкості вимірюваної рідини.

4. Швидкодія приладу, що визначається його динамічними характеристиками.

5. Великий діапазон вимірювання необхідний, коли значення витрати палива можуть змінюватися в значних межах.

В статті запропоновано вимірювання витрати біодизельного палива забезпечити за рахунок приладу на основі мікропроцесора з термоанемометром, на якому вмонтовані нагрівач і два датчики температур.

**Мета роботи** – аналіз існуючих норм і вимог до витратомірів та формування необхідних вимог до високоточного витратоміру з ЕОМ, що забезпечують підвищення точності результатів вимірювань.

**Викладення основного матеріалу статті.** Теплові витратоміри можуть застосовуватися при вимірюванні невеликих витрат майже будь-яких рідин при різних їх параметрах. Крім того, вони особливо перспективні для вимірювання витрати в'язких матеріалів. Принцип їх дії побудований на використанні залежності ефекту теплової дії на потік речовини від масової витрати цієї речовини.

Теплові витратоміри можуть виконуватися по трьох основних принципових схемах:

- калориметричні, побудовані на нагріві або охолодженні потоку стороннім джерелом енергії, що створює в потоці різниця температур;

- теплового шару, побудовані на створенні різниці температур з двох сторін;

- прикордонного шару;

- термоанемометричні, в яких використовується залежність між кількістю теплоти, що втрачається тілом, що безперервно нагрівається, поміщеним в потік, і масовою витратою речовини.

Вибір принципової схеми вимірювання залежить від вимірюваного середовища, необхідної точності, типу використовуваних термочутливих елементів і режиму нагріву. Для пружно-в'язких пластичних речовин переважним є вимірювання по схемі термоанемометра з постійною температурою підігріву потоку.

Чутливими елементами термоанемометричного теплового витратоміра (рис. 1) є резистори R1 і R2, що поміщаються (намотувані) на стінці трубопроводу на деякій відстані один від одного. Манганінові резистори R3 і R4 служать для створення мостової схеми, що живиться від джерела напруги U<sub>жив</sub>. Сигнал розбалансу, пропорційний зміні витрати, подається на електронний підсилювач (ЕП), де

посилається і після цього керує обертанням реверсивного електродвигуна (РД), який, проводячи перестановку движка компенсуючого змінного резистора  $R_r$ , змінює напругу живлення до тих пір, поки розбаланс у вимірювальній діагоналі моста не стане рівним заданому. Мірою витрати можуть служити свідчення амперметра, ватметра (на схемі не показаний) або положення движка  $R_r$ .

За допомогою теплових витратомірів може бути забезпечена точність вимірювання витрати в'язких продуктів  $\pm(0,2\dots0,5)\%$ .

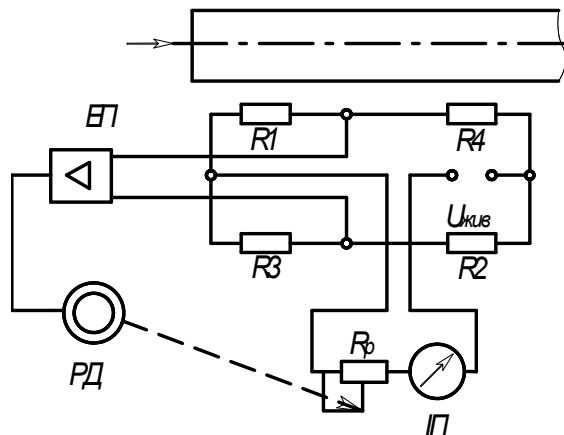


Рис. 1. Принципова електрична схема термоанемометричного теплового витратоміра

Витрата речовини — це маса або об'єм речовини, що проходить через даний перетин каналу засобу вимірювання витрати за одиницю часу. Залежно від того, в яких одиницях вимірюється витрата, розрізняють об'ємну витрату та масову витрату. Об'ємна витрата вимірюється в  $\text{м}^3/\text{с}$  ( $\text{м}^3/\text{год.}$  тощо), а масова — в  $\text{кг}/\text{с}$  ( $\text{кг}/\text{год.}$ ,  $\text{т}/\text{год.}$  тощо).

Витрата речовини вимірюється за допомогою витратомірів, що являють собою засоби вимірювань або вимірювальні прилади витрати. Багато витратомірів призначені не тільки для вимірювання витрати, але і для вимірювання маси або об'єму речовини, що проходить через засіб вимірювання в перебіг будь-якого довільно взятого проміжку часу. В цьому випадку вони називаються витратомірами з лічильниками або просто лічильниками.

Різноманітність і складність вимог, що висуваються сучасною наукою і технікою до характеристик, а також областей застосування витратомірів, зумовили появу численних і різноманітних методів вимірювання витрати:

- змінного перепаду тиску;
- обтікання — постійного перепаду тиску;
- тахометричні;
- електромагнітні;
- змінного рівня;
- теплові;
- вихрові;
- акустичні.

Крім того, відомі витратоміри, побудовані на інших принципах дії: резонансні, оптичні, іонізаційні, міточні та ін. Проте багато з них знаходяться у стадії розробки і широкого застосування поки не одержали [1–19].

*Основні вимоги, що висуваються до автомобільних витратомірів.* Витрата палива автомобіля по нормах перевищує реальний на (15...20)%. Насправді ж витрата палива залежить не тільки від марки машини, але і від наявності (відсутності) спойлера, типу причепа, типу шин і їх зносу, рельєфу дороги, кліматичних умов, якості палива й ін. Умови виконання перевезень змінюються, і змінюється витрата палива. Дослідження показали, що навіть такий чинник, як манера водіння водія, вносить 10% розкид у споживання палива машиною. В умовах різкого зростання конкуренції і демпінгу з боку іноземних перевізників, коли вартість фрахту впала більш ніж в 2 рази, а вартість палива зросла у декілька разів, актуальним є зниження витрат на кругорейс і в першу чергу — витрат на паливо. Мета приладів для вимірювання витрати палива — підвищення точності та швидкодії вимірювань. В даний час до витратомірів палива висувається багато вимог, задовольнити які достатньо складно і не завжди можливо.

Розглянемо ці вимоги більш детально:

1. Висока точність вимірювання – одна з основних вимог, що висуваються, особливо до лічильників і дозаторів. Якщо раніше похибка вимірювання в (1,5...2) % вважалася нормальною і достатньо задовільною, то в даний час нерідко потрібно мати похибку (0,2...0,5) %. Підвищення точності досягається як за рахунок застосування нових прогресивних методів і приладів (тахометричних, електромагнітних, ультразвукових тощо), так і за рахунок вдосконалення старих класичних методів. До найбільш точних належать камерні лічильники палива (зокрема з овальними шестернями і лопатні). Погрішність перших 0,5 %, а других навіть не більше 0,2 % від вимірюваної величини. Витратоміри із звужучими пристроями менш точні. Зниження їх похибки досягається за допомогою зносостійких діафрагм, а також при підвищенні точності дифманометрів і застосуванні обчислювальних пристроїв для обліку зміни щільності речовини.

2. Надійність (поряд з точністю) – одне з головних вимог, що висуваються до витратомірів палива. Основним показником надійності є час, протягом якого прилад зберігає працездатність і достатню точність. Цей час залежить як від пристрою приладу, так і від його призначення і умов застосування. Витратоміри, що встановлюються на автомобілях, значно відрізняються своєю конструкцією від стаціонарних приладів, вживаних в лабораторній практиці або в технологічних процесах багатьох виробництв, хоча в них як правило використовуються ті ж принципи дії. Особливості автомобільних приладів залежать від специфіки вимог, що висуваються до них в експлуатації. Ці вимоги обумовлені такими причинами. На прилади, встановлені на автомобілях, впливають значні вібрації і трясіння. Так, на приладовій панелі сучасних автомобілів вібрація може досягати величини (0,5...2) g. Датчики приладів, розміщені на двигуні або трансмісії піддаються вібрації до 15 g. Тому прилади повинні безперервно і справно працювати в цих умовах.

В умовах експлуатації прилади працюють при різних температурах навколишнього середовища, що коливаються від мінус 60 °С в північних районах до плюс 60 °С у тропіках. При цьому залежно від місця установки приладу, температура його може досягати плюс 120 °С. На прилади потрапляє пил, грязь, вода, масло, паливо, солі (в умовах морського клімату), комахи і грибки (у вологих тропіках). Отже матеріали і покриття витратомірів повинні бути стійкими до перелічених дій, а внутрішні частини приладів ущільнені або герметизовані.

Електричні прилади з живленням від бортової мережі повинні бути малочутливі до змін напруги в межах 11–15 В у 12-вольтних мережах, та 22–30 В в 24-вольтних системах. Прилади також повинні бути нечутливими до пульсації живлячої випрямленої напруги, яка виникає у разі застосування генератора змінного струму.

Автомобілі використовують у місцевостях з різними висотами над рівнем моря, тому прилади повинні працювати при барометричному тиску, що зустрічається в районах, де є дороги, тобто при зміні атмосферного тиску від 650 до 800 мм. рт. ст.

Тахометричні прилади, елементи яких при вимірюванні безперервно рухаються, мають менший термін служби. Так, у турбінних витратомірів знос осі й опор буде тим менше, чим краща змащувана здатність вимірюваної речовини і чим вона чистіше. Для підвищення надійної роботи цих витратомірів необхідне застосування фільтрів або інших очисних пристроїв. У технічних умовах на деякі тахометричні витратоміри турбінного типу вказується шестирічний термін нормальної роботи [6].

3. Незалежність результатів вимірювання від зміни густини речовини. В більшості випадків необхідно мати пристрої, що автоматично вводять корекцію в показання приладу при зміні щільності (або температури і тиску) вимірюваної речовини. Лише у теплових і силових витратомірів, що вимірюють масову витрату, зміна щільності вимірюваної речовини дуже мало позначається на результатах вимірювання.

4. Швидкодія приладу, визначувана його гарними динамічними характеристиками, необхідна перш за все при вимірюванні швидко змінних витрат, а також у випадку застосування приладу в системі автоматичного регулювання.

Швидкодію більшості витратомірів зручно оцінювати значенням його постійної часу  $T$ , тобто часу, протягом якого покази приладу при стрибкоподібній зміні витрати від  $Q_1$  до  $Q_2$  змінюються приблизно на дві третини від значення  $Q_2 - Q_1$ . Турбінні витратоміри мають дуже малу постійну часу  $T$  (в межах сотих і тисячних долей секунди). У теплових же витратомірів час  $T$  вимірюється десятками секунд. Для поліпшення їх швидкодії застосовують особливі вимірювальні схеми (диференціюючі). Витратоміри зі звужучими пристроями займають проміжне положення. У цих витратомірах час  $T$  зменшується зі зменшенням довжини сполучних трубок, а також вимірювального об'єму дифманометра і збільшенням його граничного перепаду тиску.

5. Великий діапазон вимірювання ( $Q_{max}/Q_{min}$ ) необхідний, коли значення витрати палива можуть змінюватись в значних межах. У приладів з лінійною характеристикою, наприклад електромагнітних, цей діапазон рівний восьми–десяти, у витратомірів зі звужучими пристроями він дуже малий і рівний трьом. Збільшити його до дев'яти–десяти можна шляхом підключення до звужучого пристрою двох дифманометрів. У теплових витратомірів можна за допомогою зміни потужності нагрівача одержати багатомезну шкалу з дуже великим загальним діапазоном вимірювання.

б. Дуже різноманітна номенклатура вимірюваних палив, які можуть бути не тільки однофазними, але і багатофазними. Основні методи вимірювання витрати палива були розроблені для однофазних палив.

При цьому треба враховувати як параметри (тиск, температуру), так і особливі властивості (агресивність, абразивність, токсичність, вибухонебезпечність тощо) речовин.

Паливну економічність автомобілів доцільно оцінювати не тільки періодично (за контрольній витраті палива), але і безперервно під час руху: це дозволяє підтримувати автомобіль в технічно справному стані (підвищена витрата палива майже завжди пов'язана з несправностями вузлів і агрегатів автомобіля) і сприяє виробленню навичок економічного стилю водіння (при правильному виборі режимів можна економити до 30 % палива).

*Термоанемометричний витратомір як один із найперспективніших.* Вибір принципової схеми вимірювання залежить від вимірюваного середовища, необхідної точності, типу використовуваних термочутливих елементів і режиму нагріву. Переважним є вимірювання за схемою термоанемометра з постійною температурою підігріву потоку.

Дія термоанемометричних масових витратомірів побудована на принципі теплової дисперсії, за яким співвідношення між швидкістю потоку і процесом охолодження безпосередньо залежить від масової витрати рідини. Таким чином, детектори забезпечують високоточні вимірювання швидкості потоку рідини з високою повторюваністю [8].

Вдосконалення методів термоанемометричних вимірювань при організації нестационарного енергетичного режиму у вимірювальній системі вирішує [9] проблеми розширення діапазону змін контрольованих витрат рідини, зниження динамічних похибок при вимірюваннях, компенсації температурних похибок. Джерела зарубіжної патентної інформації [10–13] свідчать про збільшення активності розробників теплових витратомірів рухомих середовищ з частотно-тимчасовими вихідними характеристиками, пов'язаної вдосконаленням систем обробки інформації на базі мікропроцесорної техніки.

Нові можливості термоанемометричних методів вимірювання витрат як окремого випадку теплових методів виявляються при функціонуванні термочутливих елементів (ТЕ) в нестационарному режимі розігрівання з подальшою реєстрацією тих характеристик розігрівання, які пов'язані з умовами теплообміну, а отже і з витратою рідини.

*Сучасні багатокомпонентні палива, вимірювання яких планується провести.* На підставі аналізу було визначено, що перспективним альтернативним паливом ДВЗ для умов України є паливо, яке одержують шляхом змішування рідких вуглеводневих палив і похідних рапсової олії (РО) – метилових ефірів РО (МЕРО). До показників, які впливають на процеси випаровування, сумішоутворення і згорання в першу чергу належать: щільність палива; кінематична  $\nu$  і динамічна  $\mu$  в'язкості; поверхневий натяг  $\sigma$  [15; 16].

Для отримання МЕРО використовують РО, яка пройшла дві стадії: віджимання і фільтрацію [17]. Потім шляхом прямої переетерифікації гліцеридів РО з метиловим спиртом при температурі (80...90) °С у присутності їдкою калію була одержують суміш метилових ефірів рідких кислот РО.

У таблицях 1, 2 наведено фізико-хімічні показники РО, МЕРО, дизельного палива (ДП) і їх сумішей в інтервалі температур 20–70 °С. Дані при температурах (50...70) °С необхідні для розрахунків процесів випаровування і сумішоутворення, оскільки саме до цих температур нагрівається паливо при його стисненні в нагнітальній секції паливного насоса.

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники МЕРО, ДП

Показники	ДП	МЕРО
Щільність, кг/м <sup>3</sup> при t = 20 °С	826	877
Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с при t = 20 °С	3,83	8,0
Поверхнєве натягнення, Н/м при t = 20 °С	27,1·10 <sup>-3</sup>	30,7·10 <sup>-3</sup>
Цетанове число, не менше	45	48
Температура, °С		
Займання (не менше)	60	120
Застигання (не більше)	-10	-8
Коксованість 10 % залишку в % (не більше)	0,5	0,3
Випробування на мідну пластину	витримує	витримує
Кислотне число, мгКОН/г	0,06	0,5
Зміст в %		
Сірки, не більше	0,2	0,02

Золи, не більше	0,02	0,02
Води	відсутній	0,05
Сумарний зміст гліцерину % (max)	–	0,3
Нижча теплота згорання, МДж/кг	42,5	37,1–37,5

Таблиця 2

## Фізико-хімічні показники РО, МЕРО, ДП та їх сумішей

Склад палива	Щільність $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>			Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с			Динамічна в'язкість $\mu$ , Па·с			Поверхнєве натягнення $\sigma$ , Н/м	
	20	50	70	20	50	70	20	50	70	20	50
РО	913	891	878	-	-	17,4	-	-	15,3	33,2	31,8
МЕРО	877	856	842	8,0	4,25	3,1	7,02	3,64	2,61	30,7	29,2
ДП	826	805	791	3,83	2,11	1,67	3,16	1,7	1,32	27,1	25,3
30 %МЕРО + 70 % ДП	841	821	806	4,87	2,67	2,1	4,1	2,19	1,69	27,8	26,0
50 %МЕРО + 50 % ДП	851	830	816	5,62	2,97	2,38	4,78	2,46	1,94	28,6	26,9
75 %МЕРО + 25 % ДП	864	843	829	6,93	3,68	2,74	5,99	3,1	2,27	29,5	27,8

**Висновки.** Надзвичайно актуальним на сьогоднішній день є питання більш точного визначення витрат палива автомобіля з метою їх контролю і нормування. Для цього необхідно розробити високоточний витратомір з алгоритмічною обробкою виміральної інформації.

Встановлено, що теплові витратоміри перспективні для вимірювання витрати палива, адже на результат вимірювання не впливають більшість негативних умов експлуатації під час руху автомобіля. Вони можуть застосовуватися для вимірювання невеликих витрат майже будь-яких середовищ при різних їх параметрах, особливо рідин з підвищеною в'язкістю.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. *Новицкий П.В.* Основы информационной теории измерительных устройств. – Л.: Энергия, 1968. – 248 с.
2. Расчет и конструирование расходомеров / Под ред. П.П. Кремлевского. – М.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1978. – 224 с.
3. *Мухин В.С.* Приборы контроля и средства автоматизации тепловых процессов.
4. *Иванова Г.М.* Теплотехнические измерения и приборы: Учебник для ВУЗов / Г.К. Иванов, Н.Д. Кузнецов, В.С. Чистиков. – М.: Энергоатомиздат.
5. *Андреев Б.В., Шарлай Г.П.* Тяговый расчет автомобиля. – Красноярск: политехн. ин-т, 1971.
6. *Артамонов М.Д., Панкратов Г.П.* Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей. – М.: Машгиз, 1963.
7. *Тютюнников Б.Н.* Химия жиров. – М.: Пищевая промышленность, 1965. – 632 с.
8. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії / О.Адаменко, В.Височанський, В.Льотко, М.Михайлов / За ред. проф. В.Льотко: Підручник для енергетичних і екологічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Івано-Франківськ: Полум'я, 2000. – 225 с.
9. *Семенов В.Г.* Определение теплоты сгорания биотоплив растительного происхождения // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: Труды 4-й Международной научно-технической конференции. – 23–24 октября 2001 г. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2001. – С. 250–253.
10. *Самойленко А.М., Кривошея С.А., Перестюк М.О.* Дифференціальні рівняння в задачах. – К.: Либідь, 2003. – 502 с.
11. Интернет-сайт [www.td-mk.ru](http://www.td-mk.ru)
12. Теплотехніка: Підручник / За ред. Б.Х. Драгоманова. – К.: Інкос, 2005. – 504 с. – С. 115–155.
13. *Большаков В.А., Попов В.Н.* Гидравлика. Общий курс: Учебник для вузов. – К.: Выща школа. Головное изд-во, 1989. – 215 с.

14. *Емцев Б.Т.* Техническая гидромеханика: Учебник для вузов по специальности «Гидравлические машины и средства автоматизации». – М.: Машиностроение, 1978. – 463 с.
15. *Столяров А.Л.* Машиностроительная гидравлика: Прим. расчетов. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1987. – 206 с.
16. *Кончин А.И., Демидов В.П.* Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1980. – 400 с.
17. Измеритель переносной непрозрачности отработавших газов автомобилей ИНА-109, паспорт 2.850.250ПС. – 50 с.
18. *Устименко В.С., Ковальов С.О., Бейко О.А.* Перспективи і проблеми розширення використання біопалив автомобільним транспортом України // Автошляховик України. – 2003. – № 2. – С. 7.
19. *Грабар І.Г., Ильченко А.В.* Теоретичне обґрунтування зміни витрат моторних палив з домішками ріпакової олії // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Даля. – 2004. – № 7 (77). – С. 92–96.

**БЕЗВЕСІЛЬНА** Олена Миколаївна – Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор кафедри приладобудування Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- гравіметричні системи;
- методи та прилади вимірювання механічних величин.

**ШАВУРСЬКИЙ** Юрій Олександрович – асистент кафедри автоматизації і комп'ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- вимірювання витрат палива;
- алгоритмічна обробка вимірювальної інформації на ЕОМ.

Подано 21.01.2009

**Безвесільна О.М., Шавурський Ю.О.** Формування основних вимог до витратомірів автомобільного біодизельного палива.

**Безвесильная Е.Н., Шавурский Ю.А.** Формирование главных требований к расходомерам автомобильного биодизельного топлива.

**Bezvesilnaya E.N., Shavursky Yu.A.** Formation of the main requirements to the charge of automobile biodiesel fuel.

УДК 681.2

**Формирование главных требований к расходомерам автомобильного биодизельного топлива / Е.Н. Безвесильная, Ю.А. Шавурский**

В статье сформулированы основные требования к измерениям расхода топлива с помощью высокоточного компьютеризованного расходомера. Определены основные отличия физико-химических свойств биодизельного топлива, которые влияют на работу расходомера. Предложено использовать термоанемометрический метод и устройство для измерения расхода такого топлива.

УДК 681.2

**Formation of the main requirements to the charge of automobile biodiesel fuel / E.N. Bezvesilnaya, Yu.A. Shavursky**

In the article the main requirements to measurements of propellant consumption with the help of high-precision computer-based flowmeter are formulated. The main differences of physics and chemical properties of biodiesel fuel are certain which influence activity of flowmeter. It is offered to use temperature method and device for measurement of the consumption of such fuel.