

УДК 620.179.16:621.43-721

## ОБГРУНТУВАННЯ ІМПУЛЬСНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ МОТОРНОГО МАСЛА

Кушлик Р.В., к.т.н.,

Кушлик Р.Р., інж.

*Таврійський державний агротехнічний університет*

Тел. 42-23-41

**Анотація** – В роботі проведено обґрунтування імпульсного методу контролю якісних показників моторного масла, розрахована відносна похибка при вимірюванні швидкості і коефіцієнта поглинання ультразвуку в моторних маслах з такими забруднювачами, як охолоджуюча рідина і паливні фракції.

**Ключові слова** – імпульсний метод, моторне масло, паливні фракції, охолоджуюча рідина, контроль, похибка.

*Постановка проблеми.* Аналіз методів, які застосовують для контролю охолоджуючої рідини, паливних фракцій і механічних домішок в моторних маслах в процесі експлуатації двигунів внутрішнього згорання показує, що вони мають ряд серйозних недоліків. Основні серед них, це: тривалість аналізів може складати до двох годин, аналізи трудомісткі і потребують висококваліфікованих лаборантів, велика похибка при вимірюваннях.

Застосування ультразвуку для контролю якісних показників в моторних маслах є новим і перспективним направленням. Розробка простих і ефективних акустичних експрес – методів і портативних засобів контролю стану моторного масла дозволить зменшити час аналізів, а аналізи проводити на базі аналітичних лабораторій безпосередньо на робочому місці в процесі експлуатації с.г. техніки.

*Аналіз останніх досліджень.* Питанням впливу забрудненості моторних масел на експлуатаційні властивості, а відповідно, і на надійність деталей і вузлів машин присвячена значна кількість наукових робіт. Як показують результати робіт М. А. Григор'єва, Г.П. Лишко, Н. И. Скиндера, Ю. А. Гурьянова, В. А. Носова, Н. А. Зографа [1-4], К.К. Папок, Н. І. Ітинської та інших дослідників, підвищена забрудненість моторних масел сприяє негативному впливу на надійність двигунів, викликаючи інтенсивний знос спряжених деталей. Організація періодичного контролю за станом масла в процесі експлуатації ДВЗ

дозволить своєчасно встановити несправності в системі змащування і проводити заміну масла по його фактичному стану [1].

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* В статті поставлена мета на базі відомих ультразвукових методів проаналізувати імпульсний метод при вимірюванні швидкості і коефіцієнта поглинання ультразвуку в моторних маслах з певними забруднювачами, з визначенням абсолютних та відносних похибок при дослідженнях.

*Основна частина.* При розповсюдженні акустичного імпульсу його окремі спектральні складові послаблюються в різній степені, що призводить до спотворення форми імпульсу. Це суттєво для коротких імпульсів і сильно поглинаючих середовищ, до яких входить моторне масло [2]. Нехай випромінюючий акустичний сигнал має наступний вигляд:

$$P(\tau) = e^{\omega\tau - \delta_i^2 \tau^2}, \quad (1)$$

де  $\omega$  – несуча частота;

$\tau$  – час розповсюдження ультразвуку;

$\delta_0$  – параметр, який визначає форму обвідної.

Величина,  $\delta_0$  зв'язана з тривалістю імпульсу  $\tau_0$  (на рівні 0,5) відношенням:

$$\tau_0 = \frac{2\sqrt{\ln 2}}{\delta_i} \approx \frac{1,67}{\delta_i}, \quad (2)$$

Після проходження відстані  $l$  через моторне масло форма і амплітуда імпульсу визначається інтегралом:

$$P(l, \tau') = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(f) e^{-\alpha l} e^{\alpha l \tau'} df, \quad (3)$$

де  $\tau' = \frac{\tau - l}{c}$  - поточний час;

$c$  – швидкість ультразвуку;

$S(f)$  – спектральна щільність.

Провівши певні перетворення і підстановку певних значень отримаємо:

$$P(l) \approx \exp \left\{ -\alpha_i l \left[ 1 + \left( \frac{2\delta_0^2}{\omega_0^2} \right) (1 - 2\alpha_0 l) \right] \right\}, \quad (4)$$

Зменшення амплітуди в цьому випадку апроксимується експоненціальною залежністю із середнім ефективним коефіцієнтом поглинання:

$$\alpha_e = \alpha_0 \left[ 1 + \left( \frac{2\delta_0^2}{\omega_0^2} \right) (1 - 2\alpha_0 l) \right], \quad (5)$$

При розповсюдженні імпульсу в середовищі із поглинанням сигналу ефективна частота заповнення не залишається постійною, а зміщується в сторону низьких частот. В цьому випадку зміна частоти спектру призводить до розширення імпульсу на величину  $\delta_e$  причому:

$$\delta_e^2 = \frac{\delta_0^2}{1 + 4\alpha_0 l \frac{\delta_0^2}{\omega_0^2}} \approx \delta_0^2 (1 - 4\alpha_0 l \frac{\delta_0^2}{\omega_0^2}). \quad (6)$$

Квадратична залежність коефіцієнта поглинання, справедлива для більшої частини рідин, в тому числі і моторних масел, часто ускладнюється, і в рівняння для  $P(l)$ ,  $\alpha_e$ ,  $\delta_e^2$  входить коефіцієнт  $n$ , який характеризує втрати ультразвукової енергії в речовині. Для випадку релеевського розсіювання в гетерогенних середовищах і полікристалах  $n=4$ ; при лінійному законі (втрати на гістерезис)  $n=1$ .

$$P(l) \approx e^{-\alpha_0 l} \left[ 1 - \alpha_0 l \frac{\delta_0^2}{\omega_0^2} n(n-1 - n\alpha_0 l) \right], \quad (7)$$

$$\alpha_e \approx \alpha_0 \left[ 1 + \frac{\delta_0^2}{\omega_0^2} n(n-1 - n\alpha_0 l) \right], \quad (8)$$

$$\delta_e^2 = \delta_0^2 \left[ 1 - 2n(n-1)\alpha_0 l \frac{\delta_0^2}{\omega_0^2} \right]. \quad (9)$$

Із даних формул виходить, що при зміні швидкості ультразвуку імпульсним методом немонохроматичність імпульсу проявляється тим сильніше, чим вище  $n$ .

Якщо задатись максимально допустимою похибкою при вимірюванні охолоджувальної рідини і паливних фракцій в моторному маслі, з врахуванням даних виразів можна розрахувати похибки при вимірюванні швидкості і коефіцієнта поглинання ультразвуку.

Середньоквадратична абсолютна похибка вимірювань складе:

$$\delta = \sqrt{\delta_{L_0}^2 + \delta_\tau^2 + \delta_{\tau_c}^2 + \delta_Q^2 + \delta_K^2 + \delta_A^2 + \delta_{u_e}^2 + \delta_u^2}, \quad (10)$$

де  $\delta_{L_0}$  - похибка вимірювання акустичної бази камери, мм;

$\delta_{\tau}$  - похибка вимірювання часу проходження ультразвуку в акустичному тракті камери, мкс. ;

$\delta_{\tau_c}$  - похибка вимірювання часу проходження ультразвуку через стінки камери, мкс.;

$\delta_Q$  - похибка вимірювання температури зразка,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\delta_K$  - похибка вимірювання складеної концентрації зразків, мас.%,

$\delta_{\bar{A}}$  - похибка вимірювання градуювання вимірювальних приладів, %;

$\delta_{u_e}$  - похибка вимірювання амплітуди сигналу в еталонному зразку, мВ, ;

$\delta_u$  - похибка вимірювання амплітуди сигналу в контрольному зразку, мВ.

Швидкість ультразвуку в дослідному зразку визначається по наступній формулі [3]:

$$C = \frac{L}{\tau - \tau_3}, \quad (11)$$

де  $L$  - акустична база камери, м;

$\tau$  - час проходження ультразвуку через дослідний зразок;

$\tau_3$  - час проходження ультразвуку через стінки камери.

Коефіцієнт поглинання ультразвуку визначається по формулі:

$$\alpha = \frac{K - \ln A}{L}, \quad (12)$$

де  $K$  - величина, постійна для даної установки, при заданій частоті ультразвуку, величині акустичної бази камери й коефіцієнті підсилення сигналу;

$A$  - амплітуда прийнятого сигналу, мв.

Відносна похибка  $E_F$  побічної величини, яка буде визначатись  $F=F(x_1 \dots x_n)$ , може бути обчислена по наступній формулі [4]:

$$\dot{A}_F \approx \frac{1}{F} \left| \frac{dF}{dX} \right| \Delta X_1 + \dots + \frac{1}{F} \left| \frac{dF}{dX_n} \right| \Delta X_n, \quad (13)$$

де  $\Delta X_1 \dots \Delta X_n$  - абсолютні похибки вимірювання величини;

$X_1 \dots X_n$  - безпосередньо величини, які визначаються із експерименту.

Похибки, які зв'язані з неточністю визначення температури  $E_Q$  і концентрації  $E_K$ , вираховуються по формулі:

$$\dot{A}_{\hat{E}} = \frac{1}{F} \left| \frac{dF}{dK} \right| \Delta K, \quad (14)$$

$$E_Q = \frac{1}{F} \left| \frac{dF}{dQ} \right| \Delta Q. \quad (15)$$

Відносна похибка визначення швидкості ультразвуку з врахуванням (11) і (13) може бути оцінена наступними відношеннями:

$$\dot{A}_{\text{вн}} = \frac{\Delta L_0}{L} + \frac{C}{L} \Delta \tau + \frac{C}{L} \tau_{\zeta} + \frac{1}{\tilde{N}} \left( \frac{dC}{dQ} \right) \Delta Q + \frac{1}{C} \left( \frac{dC}{dK} \right) \Delta K + \frac{\delta X}{L}. \quad (16)$$

В даному випадку два перших вирази враховують вклад в похибку вимірювання швидкості ультразвуку, які зв'язані з неточностями визначення безпосередньо вимірюваних величин  $L_0$ ,  $\tau$ ,  $\tau_{\zeta}$ , третій і четвертий вирази враховують неточності при вимірюванні температури  $Q$  і складання концентрації зразків, п'ятий вираз враховує похибку градування приладів.

Абсолютні похибки в визначенні безпосередньо величин в експериментах контролю охолоджуючої рідини і паливних фракцій згідно досліджень, які були проведені в роботі [5] були наступного порядку:  $\Delta L_0 = 0,010$  мм;  $\Delta \tau = 0,01$  мкс;  $\Delta \tau_{\zeta} = 0,02$  мкс;  $\Delta Q = 0,2^{\circ}\text{K}$ ; величина  $\Delta \delta X$  – порядку 0,13 мм. Похибки вимірювання  $Q$  і  $K$  склали:  $\frac{1}{\tilde{N}} \left( \frac{dC}{dQ} \right) \Delta Q = 0,02\%$ ,  $\frac{1}{\tilde{N}} \left( \frac{dC}{dK} \right) \Delta K = 0,004\%$ , при швидкості ультразвуку  $C$  порядку 1500 м/с і  $L$  – порядку 100 мм.

Сумарна похибка  $E_{c1}$  вимірювання абсолютних величин значень швидкості ультразвуку і її вклади будуть дорівнювати:

$$E_{c1} = 0,0001 + 0,15 + 0,3 + 0,01 + 0,004 + 0,0013 = 0,475 \approx 0,5\%$$

Відносна похибка вимірювання коефіцієнта поглинання  $E_{\alpha}$  з врахуванням рівнянь (12) і (13) визначається відношенням:

$$\dot{A}_{\alpha} = \frac{1}{\alpha} \Delta \alpha_a + \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{L^2} \ln \frac{u_e}{u} \Delta L + \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{1}{Lu_e} \Delta u_e + \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{1}{Lu} \Delta u. \quad (17)$$

Враховуючи те, що  $\frac{1}{L} \ln \frac{u_e}{u} = \alpha - \alpha_e$ , отримаємо:

$$E_{\alpha} = \frac{\alpha_e}{\alpha} E_{\alpha_e} + \frac{\alpha - \alpha_e}{\alpha} E_L + \frac{1}{\alpha L} E_{u_e} + \frac{1}{\alpha L} E_u . \quad (18)$$

В даному випадку перший вираз враховує похибку визначення коефіцієнта поглинання в еталонній рідині, другий третій і четвертий вираз враховує похибки вимірювань, які зв'язані з неточностями визначення  $L$ ,  $u_e$  і  $u$ .

Абсолютні похибки в визначенні величин в експериментах контролю охолоджуючої рідини і паливних фракцій згідно досліджень, які були проведені в роботі [5], були наступного порядку:

$$\alpha_e = 0,02 \text{ м}^{-1}; E_u = 0,01; E_{u_e} = 0,01; E_L = 0,0001; \alpha = 114 \text{ м}^{-1}; E_{\alpha_e} = 0,02; L = 0,01.$$

Сумарна похибка  $E_{\alpha}$  вимірювання абсолютних значень коефіцієнта поглинання і його вклади будуть дорівнювати:

$$\dot{A}_{\alpha} = \frac{0,02}{114} \cdot 0,02 + \frac{114 - 0,02}{114} \cdot 0,0001 + \frac{1}{114 \cdot 0,01} + \frac{1}{114 \cdot 0,01} \cdot 0,01 = 2 \cdot 10^{-2} = 2\% .$$

*Висновки.* Аналіз отриманих даних дозволяє зробити наступні висновки:

1. Імпульсний метод вимірювання швидкості ультразвуку і коефіцієнта поглинання в в'язких рідинах є одним із найбільш чутливих до молекулярної структури речовини і дозволяє отримати широку інформацію про її стан. Невеликі зміни в складі моторного масла призводять до значних змін акустичних параметрів.

2. Відносна похибка при вимірюванні акустичних параметрів в моторних маслах з такими забруднювачами, як охолоджуюча рідина і паливні фракції імпульсним методом для швидкості ультразвуку склала 0,5%, а для коефіцієнта поглинання 2%.

#### Література

1. *Скиндер Н.И.* О.необходимости систематического контроля качества работающих моторных масел / *Н.И.Скиндер, Ю.А.Гурьянов.* // Химия и технология топлив и масел – 2003. - №5.-с. 28-30.
2. *Носов В.А.* Проектирование ультразвуковой измерительной аппаратуры./ *В.А. Носов.* - М.: Машиностроение, 1972. - 288 с.
3. *Бергман Г.* Ультразвук и его применение в науке и технике./ *Г.Бергман.* – М. -1956. – 726 с.
4. *Новицкий П.Ф.* Оценка погрешностей результатов измерений. / *П.Ф. Новицкий, Н.А. Зограф* – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 247 с.

5. Кушлик Р.В. Ультразвуковий експрес-метод контролю наявності води і паливних фракцій в моторних оливах. / Р.В. Кушлик, В.Ф. Яковлев, О.В. Микитенко, Р.Р. Кушлик // Науково-технічний журнал «Методи та прилади контролю якості». Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу – Вип.22. - Івано-Франківськ, 2009 р.

## **ОБОСНОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОТОРНОГО МАСЛА**

Р.В. Кушлык , Р.Р. Кушлык

**Аннотация - в работе проведено обоснование импульсного метода контроля качественных показателей моторного масла, рассчитана относительная погрешность при измерении скорости и коэффициента поглощения ультразвука в моторных маслах с такими загрязнителями, как охлаждающая жидкость и топливные фракции.**

## **GROUND IMPULSE CONTROL OF QUALITY ENGINE OIL**

R. Kushlyk , R. Kushlyk

### *Summary*

**In this research study impulsive control method of motor oil quality indicators, calculated relative error in measuring the velocity and absorption coefficient of ultrasound in the motor oils with such pollutants as coolant and fuel fractions.**