

# Механізація

УДК 681.2.001.66

Л. В. Лось

д.т.н.

Державний агроекологічний університет

А. В. Куницький

викладач

Житомирський державний технологічний університет

## АПІОРНА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНИХ АВТОТРАКТОРНИХ ПРИЛАДІВ

*Випуск сучасних автотракторних приладів на підприємствах України цілком можливий. Поряд з іншими факторами цьому сприяє розроблена універсальна схема заміщення магнітоелектричних автотракторних приладів з двоконтурною електричною схемою. Вона має глибоку теоретичну розробку, що дозволяє виконувати досить точні електричні розрахунки, а також розрахунки конструкції. Крім того, шляхом підбору конкретних опорів можна значно зменшити температурну похибку, а на найбільш важливих ділянках шкали взагалі ліквідувати її.*

Автотракторне приладобудування – порівняно нова галузь точного машинобудування в Україні. Воно започатковане наприкінці 80-х років минулого століття, коли в Житомирі на ВО "Електровимірювач" був налагоджений випуск приладів для ЗАЗ'у. В 1994–1995 роках розроблена серія приладів для Львівського автобусного заводу, якими зацікавились КраЗ і "Південмаш". Проте роботи щодо організації серійного виробництва і закінчення розробки електронних спідометра і тахометра були призупинені. На початковій стадії були згорнуті роботи щодо створення приладів для ХТЗ.

Останнім часом намітились зрушення у збільшенні обсягів виробництва автотракторних засобів. По мірі закріплення цієї тенденції все більшої актуальності набуває проблема задоволення потреб внутрішнього ринку в якісних приладах власного виробництва, а отже, відновленні дослідних і проектно-конструкторських робіт.

Серед автотракторних приладів чільне місце посідають показчики рівня палива в баку, тиску в маслопневмосистемах і температури охолоджуючої рідини. Кожен з них складається з приймача, давача і джерела постійного струму. Приймач містить в собі нерухому трисекційну обмотку і термокомпенсаційний резистор. Обмотка намотана на пластмасовий каркас і розміщена у двох взаємно поперечних вікнах намотки. В одному вікні намотки містяться дві протилежно намотані секції обмотки, в другому – третя секція. У порожнині каркасу знаходиться рухомий дисковий магніт, жорстко з'єднаний зі стрілкою через металеву вісь. Каркас зібраний з верхньої, відносно відрхункового пристрою, стрілки і нижніх колодок, завдяки чому забезпечена можливість установалення рухомого магніту в

порожнину каркаса. На колодках сформовані конусоподібні виступи з отворами для цапф осі, які виконують функції підшипників. Термокомпенсаційний резистор, маючи відносно малий температурний коефіцієнт опору, зменшує вплив температури зовнішнього середовища на покази приладів.

Спочатку прилади створювались на основі одноконтурних електричних схем. В показчику рівня палива в баку, описаному в [1], одна гілка контура утворена з першої секції обмотки, давача і додаткового опору, друга гілка – з другої і третьої секцій обмоток і термокомпенсаційного резистора. Додатковий опір призначений для зменшення щільності струму в першій секції обмотки при малих значеннях опору давача, що відповідають низькому рівню палива.

Потреба в додатковому опорі відпала в приладах з двоконтурною електричною схемою, в яких секція(ї) одного з вікон обмотки запаралелена(і) давачем, а секція(я) другого вікна намотки - термокомпенсаційним резистором.

Універсальна схема заміщення автотракторних приладів з двоконтурною електричною схемою представлена на рис.1, на якому зображено:  $R_I-R_{IV}$  – електричний опір секцій обмотки,  $R$  – електричний опір термокомпенсаційного резистора,  $R_d$  – електричний опір давача (в показчиках рівня палива і тиску давач реостатного типу, в показчиках температури – терморезистивного),  $B$  – джерело постійного струму.

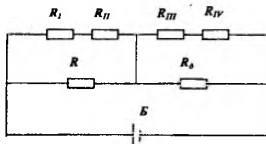


Рис. 1. Універсальна двоконтурна електрична схема заміщення приладів

Належність резистивних елементів схеми до того чи іншого приладу в залежності від призначення та особливості розміщення секцій обмотки на каркасі наведені в таблиці.

У таблиці:  $R_1, R_2, R_3$  – електричні опори відповідних секцій обмотки, знак "-" вказує на відсутність резистивного елемента в даному приладі. Секції обмотки з опорами  $R_2, R_3$  в показчику температури,  $R_1, R_3$  в показчиках тиску і рівня палива містяться в одному вікні намотки і протилежно намотані, секції обмотки  $R_1$  в показчику температури,  $R_2$  в показчиках тиску і рівня палива зміщені в просторі відносно двох перших на  $90^\circ$ .

Порядок намотування секцій обмотки наступний:

- перша секція обмотки з електричним опором  $R_1$ , поворот каркаса на  $90^\circ$ , друга секція обмотки з електричним опором  $R_2$ , поворот каркаса на  $180^\circ$ , третя секція обмотки з електричним опором  $R_3$  - показчик температури;
- перша секція обмотки з електричним опором  $R_1$ , поворот каркаса на  $90^\circ$ , друга секція обмотки з електричним опором  $R_2$ , повторний

поворот каркаса на  $90^\circ$ , третя секція обмотки з електричним опором  $R_3$  - показчики тиску і рівня палива.

Назва приладу	Належність резистивних елементів				Розміщення секцій обмотки на каркасі	
	$R_I$	$R_{II}$	$R_{III}$	$R_{IV}$	1-е (початкове) вікно намотки	2-е вікно намотки
Показчик температури охолоджуючої рідини	$R_1$	$R_2$	$R_3$	-	$R_1$	$R_2, R_3$
Показчик тиску в маслопневмосистемах	$R_1$	-	$R_2$	$R_3$	$R_1, R_3$	$R_2$
Показчик рівня палива в баку	$R_3$	$R_2$	$R_1$	-	$R_1, R_3$	$R_2$

Одним із можливих варіантів виконання таких приладів є показчик рівня палива в баку [2], електрична схема якого з імітацією взаємного розміщення секцій обмотки в просторі приведена на рис. 2.

Електрична схема складається з двох послідовно з'єднаних контурів. Гілки першого контура утворені з першої секції обмотки з числом витків  $W_1$  і давача  $R_d$ , одна гілка другого контура – з другої і третьої секцій обмотки з числом витків  $W_2, W_3$ , друга – з термокомпенсаційного резистора  $R$ . Кут відхилення рухомої системи показчика в залежності від рівня палива в баку визначається напрямком рівнодіючого магнітного поля, що обумовлений різницею магнітних полів першої і третьої секцій обмотки з числом витків  $W_1, W_3$  і напруженостями  $H_1, H_3$ , і магнітним полем другої секції обмотки  $W_2$  напруженістю  $H_2$  (рис. 3). При цьому магнітна вісь рухомого магніту суміщується з вектором рівнодіючого магнітного поля.

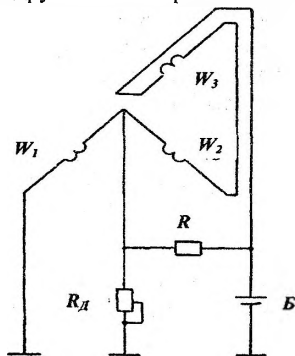


Рис. 2. Електрична схема показчика рівня палива в баку

З рис. 3 видно, що порожньому баку відповідає рівнодіюче магнітне поле напруженістю  $H_0$  з кутом відхилення рухомої системи відносно вісі другої секції обмотки  $\alpha_0$ , повному – магнітне поле напруженістю  $H_n$  з кутом відхилення  $\alpha_n$ . Кут розхилу шкали між початковою і кінцевою позначками шкали становить

$\alpha_{шк} = \alpha_0 - \alpha_n$  (кут  $\alpha_n$  береться зі знаком "+", якщо він відраховується від вісі секції  $W_2$  проти ходу годинникової стрілки, зі знаком "-" – за ходом стрілки).

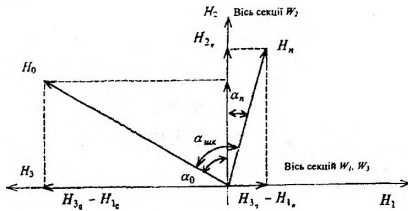


Рис. 3. Принципіальна схема визначення кута відхилення рухомої системи від зміни рівня палива в баку

пропорційна ампер-виткам, тобто у загальному вигляді  $H = kIW$ , формула (1) матиме вигляд:

$$\alpha = \arctg \left( \frac{W_3}{W_2} - \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{I_1}{I_2} \right). \quad (2)$$

Беручи до уваги, що відношення струмів гілок контурів обернено пропорційне їх опорам, коли струми в давачі  $I_d$  і термокомпенсаційному резисторі  $I_R$  можна представити як  $I_d = I_1 R_1 / R_d$ ,  $I_R = I_2 (R_2 + R_3) / R$  і врахувавши, що сума струмів гілок кожного з контурів однакова, а отже справедлива рівність  $I_1 + I_d = I_2 + I_R$ , виразимо відношення струмів  $I_1 / I_2$  через відношення відповідних опорів і підставимо у формулу (2). Тоді

$$\alpha = \arctg \left( \frac{W_3}{W_2} - \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{1 + \frac{R_2 + R_3}{R}}{1 + \frac{R_1}{R_d}} \right). \quad (3)$$

Аналогічним чином отримані залежності для визначення кута відхилення рухомої системи від зміни контрольованого параметра для показника тиску в маслопневмосистемах

$$\alpha = \arctg \left( \frac{W_3}{W_2} - \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{1 + \frac{R_2 + R_3}{R_d}}{1 + \frac{R_1}{R}} \right) \quad (4)$$

і для показника температури охолоджуючої рідини

З рис. 3 також випливає, що поточне відхилення рухомої системи може бути визначене з наступної залежності

$$\alpha = \arctg \frac{H_3 - H_1}{H_2}. \quad (1)$$

Позначивши струм у секції  $W_1$  через  $I_1$ , струм у секціях  $W_2, W_3 - I_2$  і врахувавши, що напруженість магнітного поля

$$\alpha = \arctg \left( \frac{W_3}{W_1} \cdot \frac{1 + \frac{R_1 + R_2}{R}}{1 + \frac{R_3}{R_{II}}} - \frac{W_2}{W_1} \right). \quad (5)$$

Формули (3)–(5) свідчать, що покази приладів залежать не тільки від даних обмотки, а і від електричного опору елементів схеми. Якщо давачі реостатного типу і термокомпенсаційні резистори практично не змінюють електричного опору від коливань температури  $t$  зовнішнього середовища, так як вони виготовлені з термостабільних матеріалів, то мідний тепловологостійкий дріт, з якого намотуються секції обмотки, має досить великий температурний коефіцієнт ( $K_t=0,04$  на  $10^\circ\text{C}$ ). З урахуванням того, що зміною електричного опору давачів реостатного типу і термокомпенсаційних резисторів від зміни температури можна знехтувати і що при зміні температури зовнішнього середовища електричний опір  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  кожної з секцій обмотки змінюється у відповідності з залежністю

$$R_t = R(1 + K_t \cdot t), \quad (6)$$

формули (3)–(5) матимуть вигляд:

$$\alpha_t = \arctg \left( \frac{W_3}{W_2} - \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{1 + (R_2 + R_3)(1 + K_t \cdot t) / R}{1 + R_1(1 + K_t \cdot t) / R_{II}} \right), \quad (7)$$

$$\alpha_t = \arctg \left( \frac{W_3}{W_2} - \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{1 + (R_2 + R_3)(1 + K_t \cdot t) / R_{II}}{1 + R_1(1 + K_t \cdot t) / R} \right), \quad (8)$$

$$\alpha_t = \arctg \left( \frac{W_3}{W_2} \cdot \frac{1 + (R_1 + R_2)(1 + K_t \cdot t) / R}{1 + R_3(1 + K_t \cdot t) / R_{II}} - \frac{W_2}{W_1} \right) \quad (9)$$

Вплив температури зовнішнього середовища на відхилення рухомої системи  $\alpha_t$  буде мінімальним, якщо похідні від виразів (7)–(9) прирівняти до нуля. Для формули (7) ця умова буде мати вигляд:

$$\frac{\partial \alpha_t}{\partial t} = \frac{1}{1 + \left[ \frac{W_3}{W_2} - \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{1 + (R_2 + R_3)(1 + K_t \cdot t) / R}{1 + R_1(1 + K_t \cdot t) / R_{II}} \right]^2} \cdot \left( -\frac{W_1}{W_2} \right) \times$$

$$\times \frac{K_t [1 + (1 + K_t \cdot t) R_1 / R_{II}] \cdot (R_2 + R_3) / R - K_t [1 + (1 + K_t \cdot t) (R_2 + R_3) / R] \cdot R_1 / R_{II}}{[1 + (1 + K_t \cdot t) R_1 / R_{II}]^2} = 0.$$

Для формули (8) похідна має аналогічний вигляд з тією лише різницею, що електричні опори давача  $R_2$  і термокомпенсаційного резистора  $R$  міняються місцями.

Для формули (9)

$$\frac{\partial \alpha_i}{\partial t} = \frac{W_3 / W_1}{1 + \left[ \frac{W_3}{W_1} \cdot \frac{1 + (R_1 + R_2)(1 + K_t \cdot t) / R}{1 + R_3(1 + K_t \cdot t) / R_L} - \frac{W_2}{W_1} \right]^2} \times$$

$$\times \frac{K_t [1 + R_3(1 + K_t \cdot t) R_1 / R_L] \cdot (R_1 + R_2) / R - K_t [1 + (1 + K_t \cdot t)(R_1 + R_2) / R] \cdot R_3 / R_L}{[1 + (1 + K_t \cdot t) R_3 / R_L]^2} = 0.$$

Привіняти до нуля можна тільки чисельники другого множника, так як решта складових не можуть рівнятись 0. Після відповідних перетворень одержимо рівності, при дотримуванні яких досягається мінімальний вплив температури оточуючого середовища на покази приладів.

Для показчика рівня палива в баку

$$R_1 R = (R_2 + R_3) R_L, \quad (10)$$

для показчика тиску в маслопневмосистемах

$$R_1 R_L = (R_2 + R_3) R, \quad (11)$$

для показчика температури охолоджуючої рідини

$$R_3 \cdot R = (R_1 + R_2) \cdot R_L. \quad (12)$$

Повністю усунути температурну похибку на всьому діапазоні вимірювання в межах розхилу шкали неможливо, бо опір давчів – величина змінна. Проте шляхом підбору опорів  $R, R_1, R_2, R_3$  можна звести до мінімуму температурну похибку, а на найбільш важливих ділянках шкали її взагалі ліквідувати. Оскільки найбільш важливі ділянки шкали визначаються призначенням приладу, то, наприклад, для показчика рівня палива в баку ця ділянка знаходиться в першій половині шкали і відповідає рівню палива в баку близькому до критичного, і навпаки, для показчика температури охолоджуючої рідини – в другій половині шкали, коли температура охолоджуючої рідини наближається до температури її кипіння.

Пошук оптимальних співвідношень резистивних параметрів пов'язаний зі зміною електричних опорів секцій обмотки  $R_1, R_2, R_3$ , а отже, зі зміною моткових даних обмотки  $W_1, W_2, W_3$  і характеру шкали приладів. Для підбору резистивних параметрів, які б у найбільшій мірі задовольняли умовам (10)-(12), і забезпечення поточного контролю характеру шкали за формулами (3)-(5) необхідно знати електричний опір секцій обмотки. Методика його підрахунку докладно висвітлена в [3], згідно якої електричний опір першої секції обмотки

$$R_1 = r_n \left( P + \frac{\Delta I_1}{2} \cdot W_1 \right) \cdot W_1, \quad (13)$$

електричний опір другої секції, намотаної після повороту каркаса на  $90^\circ$ ,

$$R_2 = r_n \left( P + \frac{\Delta l_1}{2} \cdot W_1 + \frac{\Delta l_2}{2} \cdot W_2 \right) \cdot W_2, \quad (14)$$

електричний опір третьої секції після повторного повороту каркаса на  $90^\circ$

$$\alpha_t = \arctg \left( \frac{W_3}{W_2} \cdot \frac{1 + (R_1 + R_2)(1 + K_t \cdot t) / R}{1 + R_3(1 + K_t \cdot t) / R_n} - \frac{W_2}{W_1} \right), \quad (15a)$$

електричний опір третьої секції обмотки при її розміщенні безпосередньо на другій секції в одному вікні намотки

$$R_3' = r_n \left( P + \frac{\Delta l_1}{2} \cdot W_1 + \Delta l_2 \cdot W_2 + \frac{\Delta l_2'}{2} \cdot W_3 \right) \cdot W_3, \quad (15b)$$

де:  $r_n$  – погонний електричний опір одного метра дроту намотки;

$P$  – периметр кожного з двох вікон намотки каркаса;  $W_1, W_2, W_3, \Delta l_1, \Delta l_2, \Delta l_3$  – число витків і приріст довжини витка на кожний виток намотки відповідних секцій обмотки;  $\Delta l_2'$  – скореговане значення приросту довжини витка при розміщенні секцій одна на одній в одному вікні намотки.

В одному з існуючих варіантів конструкції  $P = 41$  мм. Для такого периметра каркаса і найбільш застосовуваного дроту намотки діаметром 0,09 мм з погонним опором  $r_n = 2,7$  Ом/м,  $\Delta l_1 = 0,012, \Delta l_2 = 0,011, \Delta l_3 = 0,01$  мм/виток, а  $\Delta l_2' = \Delta l_2$ , коли сумарне число витків другої і третьої секцій обмотки не перевищує 1000, і  $\Delta l_2' = (0,8 - 0,9) \cdot \Delta l_2$ , якщо  $W_2 + W_3 > 1000$ . Значення приростів довжини витка по мірі намотування обмотки установлені експериментально. Загальна місткість каркаса намотки для дроту діаметром 0,09 мм до 3200 витків.

Скориставшись формулами (13)–(15б), виразимо електричний опір секцій обмотки в аналітичних залежностях (3)–(5) для визначення кутів відхилення рухомої системи від зміни контрольованих параметрів і умов, при дотримуванні яких забезпечується мінімальний вплив температури оточуючого середовища на покази приладів через моткові дані обмотки.

Після відповідних підстановок формула (3), за допомогою якої визначається кут відхилення рухомої системи приймача показчика рівня палива в баку, матиме вигляд

$$\alpha = \arctg \left\{ \frac{W_3}{W_2} - \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{1 + r_n \left[ \left( P + \frac{\Delta I_1}{2} \cdot W_1 + \frac{\Delta I_2}{2} \cdot W_2 \right) (W_2 + W_1) + \frac{\Delta I_3}{2} \cdot W_3^2 \right]}{R}}{1 + r_n \left( P + \frac{\Delta I_1}{2} W_1 \right) W_1 / R_{II}} \right\}, \quad (16)$$

формула (4) для визначення кута відхилення рухомої системи приймача показчика тиску в маслопневмосистемах

$$\alpha = \arctg \left\{ \frac{W_3}{W_2} - \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{1 + r_n \left[ \left( P + \frac{\Delta I_1}{2} \cdot W_1 + \frac{\Delta I_2}{2} \cdot W_2 \right) (W_2 + W_3) + \frac{\Delta I_3}{2} \cdot W_3^2 \right]}{R_{II}}}{1 + r_n \left( P + \frac{\Delta I_1}{2} W_1 \right) W_1 / R} \right\}, \quad (17)$$

формула (5) для визначення кута відхилення рухомої системи приймача показчика температури охолоджуючої рідини

$$\alpha = \arctg \left\{ \frac{W_3}{W_1} \cdot \frac{1 + r_n \left[ \left( P + \frac{\Delta I_1}{2} \cdot W_1 \right) (W_1 + W_2) + \frac{\Delta I_2}{2} \cdot W_2^2 \right]}{R}}{1 + r_n \left( P + \frac{\Delta I_1}{2} W_1 + \Delta I_2 \cdot W_2 + \frac{\Delta I_2'}{2} \cdot W_3 \right) W_3} - \frac{W_2}{W_1} \right\}. \quad (18)$$

$R_{II}$

Рівність (10), при якій забезпечується мінімальна температурна похибка показчика рівня палива, матиме вигляд

$$\left( P + \frac{\Delta I_1}{2} \cdot W_1 \right) \cdot W_1 \cdot R = \left[ \left( P + \frac{\Delta I_1}{2} \cdot W_1 + \frac{\Delta I_2}{2} \cdot W_2 \right) (W_2 + W_3) + \frac{\Delta I_3}{2} \cdot W_3^2 \right] \cdot R_{II}, \quad (19)$$

рівність (11) для показчика тиску в маслопневмосистемах

$$\left[ \left( P + \frac{\Delta I_1}{2} \cdot W_1 + \frac{\Delta I_2}{2} \cdot W_2 \right) (W_2 + W_3) + \frac{\Delta I_3}{2} \cdot W_3^2 \right] \cdot R = \left( P + \frac{\Delta I_1}{2} \cdot W_1 \right) \cdot W_1 \cdot R_{II}, \quad (20)$$

рівність (12) для показчика температури охолоджуючої рідини

$$\begin{aligned} & \left( P + \frac{\Delta I_1}{2} \cdot W_1 + \Delta I_2 \cdot W_2 + \frac{\Delta I_2'}{2} \cdot W_3 \right) \cdot W_3 \cdot R = \\ & = \left[ \left( P + \frac{\Delta I_1}{2} \cdot W_1 \right) (W_1 + W_2) + \frac{\Delta I_2}{2} \cdot W_2^2 \right] \cdot R_{II} \end{aligned} \quad (21)$$



Завдяки тому, що у формулах (16)–(21) електричні опори секцій обмотки виражені через їх моткові дані, забезпечена можливість прискореного визначення оптимального співвідношення резистивних параметрів електричної схеми для зведення до мінімуму впливу температури оточуючого середовища на покази приладів з одночасним здійсненням контролю за зміною характеру шкали від зміни моткових даних. Це суттєво спрощує пошук необхідного варіанту виконання електричної схеми приладу ще на початковій стадії його створення.

### Висновки

1. Скороченню строків розробки автотракторних приладів сприяє розроблена універсальна схема заміщення їх з двоконтурною електричною схемою. Виконана глибока теоретико-прикладна розробка її дозволяє отримувати досить точні електричні розрахунки на початковій стадії створення приладу. Шляхом підбору конкретних опорів можливо значно зменшити температурну похибку, а на найбільш важливих ділянках шкали взагалі ліквідувати її.

2. Вираз електричних опорів секцій обмоток через їх моткові дані забезпечує можливість прискореного визначення оптимального співвідношення резистивних параметрів електричної схеми для зведення до мінімуму впливу температури на покази приладів з одночасним здійсненням контролю за зміною характеру шкали від зміни моткових даних.

3. Вищевикладені теоретичні результати, поряд з фактичним збільшенням виробництва автотракторних засобів, дозволяють стверджувати, що на підприємствах України можливий випуск сучасних автотракторних приладів магнітоелектричної системи.

Подальші дослідження у даній тематиці, враховуючи приведені результати щодо схемотехніки приладів, доцільно вести в напрямі вирішення конструкторсько-технологічних проблем, котрі пов'язані з освоєнням виробництва нових автотракторних приладів.

### Література

1. Попов В.А. Автотракторные приборы. – М.: Машиностроение, 1960. – 402 с.
2. Куницький А.В. Метод прискореного визначення варіанту розрахунку магнітоелектричних показчиків рівня палива // Вісник ЖІТІ, 1998. – №8 / Технічні науки, – С. 55–62.
3. Куницький А.В. Розрахунок опору секцій обмотки магнітоелектричного логометра // Вісник ЖІТІ, 1997. – №6 / Технічні науки, – С. 68–71.