

## ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

А.В. Куницький

МЕТОД ПРИСКОРЕНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ВАРІАНТА РОЗРАХУНКУ  
МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПОКАЖЧИКІВ РІВНЯ ПАЛИВА

(Представлено доктором технічних наук, професором Грабаром І.Г.)

Визначена аналітична залежність кута відхилення рухомої системи показчика рівня палива в баку автотракторних засобів з урахуванням динаміки збільшення електричного опору витків секцій обмотки при їх намотуванні, на основі якої розраховані та побудовані графіки для вибору прийняттого варіанта розрахунку. Може бути корисною для інженерно-технічних працівників, причетних до створення і модернізації автотракторних приладів для вимірювання рівня палива на базі магнітоелектричних логометрів.

Тривалий час автотранспортні засоби оснащуються магнітоелектричними показчиками рівня палива як найбільш простими, надійними і стабільними, завдяки чому ця тенденція, ймовірно всього, збережеться і в майбутньому.

Перші прилади такого типу були створені на базі одноконтурної схеми, обов'язковою складовою якої є додатковий мотковий резистор [1]. Такий резистор усунуто в приладах з двома послідовно з'єднаними контурами (рис. 1), варіант конструкції яких у спрощеному вигляді представлений в [2].

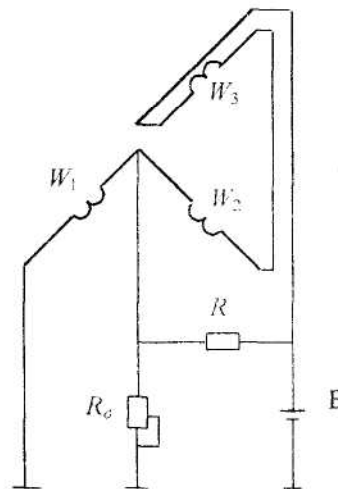


Рис. 1. Електрична схема показчика рівня палива

Гілки першого контуру складаються відповідно з секції  $W_1$  обмотки і датчика  $R_0$ , одна гілка другого контуру – з секцій  $W_2$ ,  $W_3$  обмотки, друга – з термокомпенсаційного резистора  $R$ , живлення від джерела постійного струму  $B$ . Намотка кожної з наступних після  $W_1$  секцій –  $W_2$ ,  $W_3$  – проводиться після повороту каркаса на  $90^\circ$  при збереженні незмінним напрямку повороту. В такому випадку секціям  $W_1$  і  $W_3$  забезпечується протилежний напрямок намотки при їх розміщенні в одному вікні намотки, а отже протилежний напрямок створених ними магнітних полів. Магнітне поле секції  $W_2$  має поперечний відносно магнітних полів секцій  $W_1$ ,  $W_3$  напрямок. Кут відхилення рухомої системи показчика в залежності від рівня палива в баку визначається напрямком результуючого магнітного поля, обумовленим різницею полів секцій  $W_1$ ,  $W_3$  з напруженістю  $H_1$ ,  $H_3$  і магнітним полем секції  $W_2$  напруженістю  $H_2$  (рис. 2), при цьому магнітна вісь рухомого дискового магніту, жорстко закріпленого на осі рухомої системи, суміщується з вектором результуючого поля. З рис. 2 видно, що порожньому баку відповідає результуюче магнітне поле  $H_0$  з кутом відхилення рухомої системи відносно осі секції  $W_2$   $\alpha_0$ , наповненому –  $H_n$  з кутом  $\alpha_n$ . Кут розвору шкали становить  $\alpha_{шк} = \alpha_0 + \alpha_n$ , бо

при повному наповненні бака  $H_1 > H_3$ . Якби при наповненому баці  $H_3$  було б більше за  $H_1$ , то  $\alpha_{шк} = \alpha_0 - \alpha_n$ .

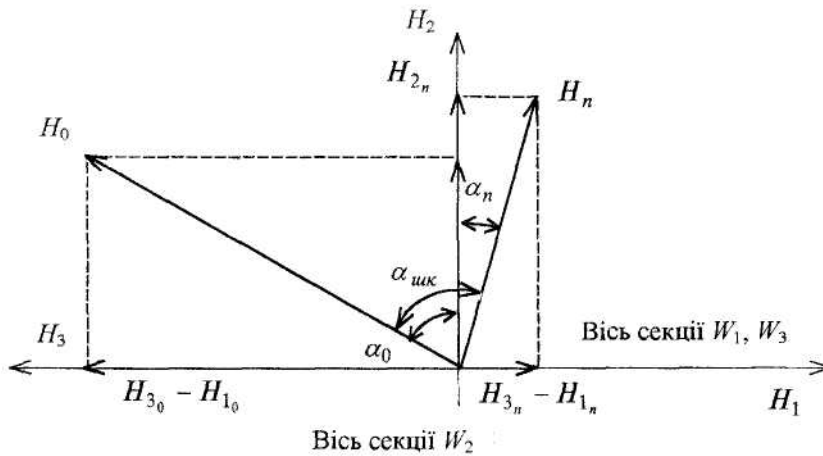


Рис. 2. Принципіальна схема визначення кутів відхилення рухомої системи (стрілки) покажчика в залежності від рівня палива в баку

З рис. 2 також випливає, що поточне відхилення рухомої системи може бути визначене з наступної залежності:

$$\alpha = \arctg \frac{H_3 - H_1}{H_2} \tag{1}$$

Позначивши струм у секції  $W_1 - I_1$ , струм у секціях  $W_2, W_3 - I_2$  і врахувавши, що напруженість магнітного поля пропорційна ампер-виткам, тобто в загальному вигляді  $H = \kappa IW$ , формула (1) прийме вигляд

$$\alpha = \arctg \frac{W_3}{W_2} - \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{I_1}{I_2} \tag{2}$$

Беручи до уваги, що відношення струмів гілок контурів обернено пропорційне їх опорам, коли струми в датчику  $I_D$  і термокомпенсаційному резисторі  $I_R$  можна представити  $I_D = I_1 R_1 / R$ ,  $I_R = I_2 / (R_2 + R_3)$ , і враховуючи, 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

$$\alpha = \arctg \frac{W_3}{W_2} - \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{1 + \frac{R_2 + R_3}{R}}{1 + \frac{R_1}{R_D}} \tag{3}$$

де  $R_1, R_2, R_3$  – електричний опір відповідних секцій обмотки, Ом;  $R, R_D$  – електричний опір термокомпенсаційного резистора і датчика, Ом.

Згідно з методикою розрахунку [2] опір кожної з секцій обмотки визначається

$$R_1 = r_{II} \left( P + \frac{\Delta l_1}{2} W_1 \right) \cdot W_1 \cdot 10^{-3}, \tag{4a}$$

$$R_2 = r_{II} \left( P + \frac{\Delta l_1}{2} W_1 + \frac{\Delta l_2}{2} W_2 \right) \cdot W_2 \cdot 10^{-3}, \tag{4б}$$

$$R_3 = r_{II} \left( P + \frac{\Delta l_1}{2} W_1 + \frac{\Delta l_2}{2} W_2 + \frac{\Delta l_3}{2} W_3 \right) \cdot W_3 \cdot 10^{-3}. \tag{4в}$$

Після підстановки та відповідних перетворень одержимо

$$\alpha = \arctg \frac{W_3}{W_2} - \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{1 + \frac{r_{II} \left[ \left( P + \frac{\Delta l_1}{2} W_1 + \frac{\Delta l_2}{2} W_2 \right) \cdot (W_2 + W_3) + \frac{\Delta l_3}{2} \cdot W_3^2 \right] \cdot 10^{-3}}{R}}{1 + \frac{r_{II} \left( P + \frac{\Delta l_1}{2} W_1 \right) \cdot W_1 \cdot 10^{-3}}{R_d}}, \quad (5)$$

де  $r_{II}$  – погонний опір одного метра проводу намотки, Ом/м;

$P$  – периметр кожного з двох взаємно поперечних вікон намотки каркаса, мм;

$\Delta l_1, \Delta l_2, \Delta l_3$  -- приріст довжини витка на кожний виток намотки відповідних секцій обмотки, мм/виток.

Залежність кута відхилення рухомої системи від зміни опорю датчика  $\alpha = f(R_d)$ , обумовленої зміною рівня палива в баку, повинна задовольняти певним технічним вимогам до кута розтвору, виду та характеристики шкали.

Типи деяких датчиків і дані їх опорів в залежності від ступеня наповнення бака наведені у табл. 1. Кожному з трьох нормованих значень опорю датчика відповідає переважно оцифрована контрольна позначка шкали приладу. При потребі може бути введена четверта позначка, що відповідає ступеню наповнення бака 0,25 з відповідною корекцією характеристики шкали.

Таблиця 1

Ступінь наповнення бака	Опір датчика, Ом	
	Датчики типу БМ125, БМ158, 11.3827, 29.3827 тощо	Датчик типу БМ159-Д
0	0,75±0,75	1,5±1,5
0,5	40±2,5	32±2
II	88,5±3	57±2

Створення та модернізація приладів часто пов'язані зі зміною виду, розмірів і характеристики шкали.

Необхідні моткові дані для одержання потрібного характеру шкали можна розрахувати за формулою (5), поступово наближаючись до прийнятного варіанта. В більшості випадків це потребує проведення великої кількості досить одноманітних утомливих розрахунків.

Задача суттєво спрощується, якщо за допомогою формули (5) розрахувати і побудувати графічні залежності кута відхилення рухомої системи  $\alpha$  від зміни моткових даних секцій  $W_1$  і  $W_3$  для заданих кількості витків секції  $W_2$  та стандартних значень опорю термокомпенсаційного резистора  $R$  з урахуванням того, що в існуючих конструкціях переважно застосовуються: провід мідний емальований тепловологостійкий марки ПЕТВ діаметром 0,09 мм з погонним опором одного метра  $r_{II} = 2,7$  Ом/м; каркаси, місткістю до 3 000 витків з такого проводу з периметром вікон намотки  $P = 42$  мм і приростом довжини витка секцій  $\Delta l_1 = 0,012$ ,  $\Delta l_2 = 0,011$ ,  $\Delta l_3 = 0,01$  мм на кожний виток намотки; термокомпенсаційні резистори типу С2-23 з найменшим значенням опорю  $R = 80,6$  Ом, коли потужність розсіювання ще не перевищує допустимих для такого типу резисторів 2 Вт. Такі графічні залежності представлені у табл. 2, причому кожний варіант залежності характеристики шкали від зміни моткових даних включає три криві, що відповідають супеню заповнення бака відповідно 0; 0,5 і II.

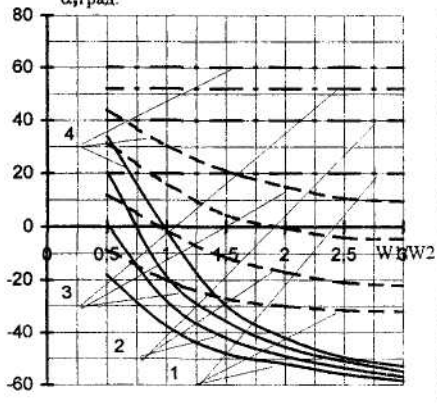
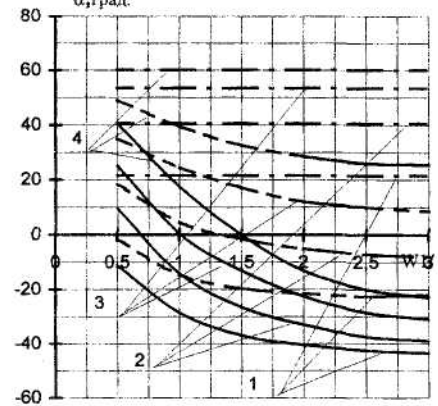
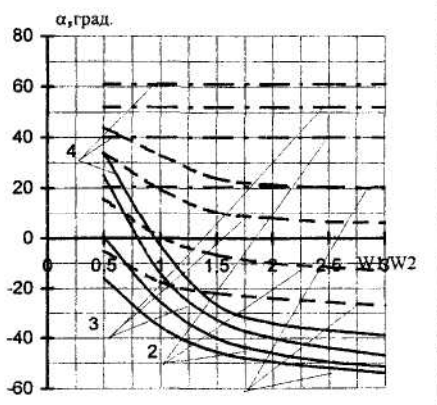
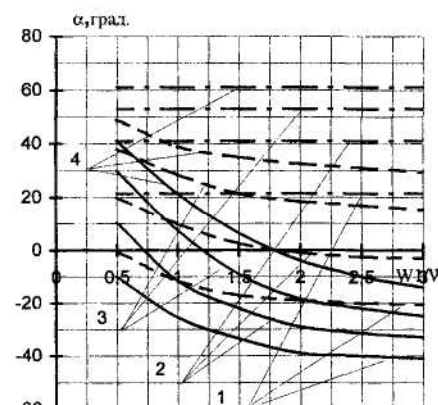
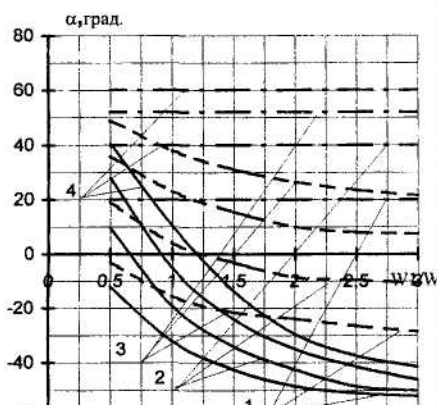
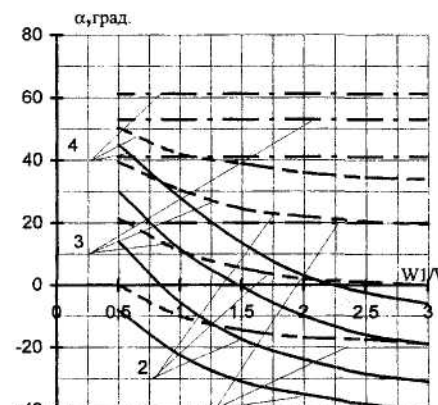
За допомогою табл. 2 можна досить швидко вибрати потрібний варіант розрахунку з прийнятною характеристикою шкали, що підтверджується нижче наведеними прикладами.

При потребі можливості табл. 2 можуть бути розширені за рахунок інтерполяції та введенням додаткових проміжних графічних залежностей. Задаватись більшими значеннями  $W_2$  і  $R$  навряд чи доцільно у зв'язку з неминучою перевитратою проводу намотки та обмеженою місткістю каркаса.

Таблиця 2

Тип датчика		R, Ом
БМ 125, 11.3827 тощо	БМ 159-Д	
1	2	3
$W_2 = 400$		
		80,6
		90,9
		100

Продовження таблиці 2

1	2	3
$W_2 = 500$		
		80,6
		90,9
		100

Продовження таблиці 2

1	2	3
$W_2 = 600$		
		80,6
		90,9
		100

Закінчення таблиці 2

1	2	3
$W_2 = 700$		
		80,6
		90,9
<p>Умовні позначки:</p> <p>1. Варіанти залежностей характеристик шкал від зміни моткових даних:              1 - <math>W_3 / W_2 = 0,5</math>; 2 - <math>W_3 / W_2 = 1</math>; 3 - <math>W_3 / W_2 = 1,5</math>; 4 - <math>W_3 / W_2 = 2</math>.</p> <p>2. Ступінь наповнення бака:              - - - - - 0 (бак порожній);              - · - · - 0,5 (наповнений наполовину);              ————— II (повний).</p> <p>3. Неробочі ділянки графічних залежностей, коли кількість витків секцій обмотки перевищує гранично можливу місткість каркаса (3 000 витків),              ··········</p>		

Слід відзначити, що вибраний варіант обов'язково повинен бути узгоджений з умовами повернення рухомої системи у вихідне положення при вимкненні приладу, що здійснюється за допомогою спеціального магніту повернення (тема окремого розгляду), і закладений в основу повного розрахунку, який зводиться до визначення температури нагрівання обмотки, потужності розсіювання термокомпенсаційного резистора, ступеня навантаження датчика і, звичайно ж, кутів відхилення рухомої системи за формулою (2), що відповідають ступеням наповнення бака 0; 0,5; II. Також слід зауважити, що визначення струмів у гілках контурів для підрахунку цих параметрів стає можливим після підрахунку опору секцій обмотки за формулами (4).

Приклад 1. Технічні дані та вимоги: датчик типу БМ125, кут розвору шкали  $\alpha_{шк} = 90^\circ$ , кількість контрольних (оцифрованих) позначок шкали - 3, розміщення позначки "0,5"

(половинне заповнення бака) симетричне відносно початкової "0" (порожній бак) і кінцевої "П" (повний бак) позначок шкали.

Можливі варіанти даних для розрахунку згідно з табл. 2.

Перший. Кількість витків другої (базової) секції  $W_2 = 500$ , опір термокомпенсаційного резистора  $R = 90,9$  Ом, варіант графічних залежностей – 3, необхідні співвідношення витків  $W_1 / W_2 = 1,8$ ;  $W_3 / W_2 = 1,5$ , звідки кількість витків першої секції  $W_1 = 900$ , третьої –  $W_3 = 750$ , загальна кількість витків обмотки – 2 150.

Другий.  $W_2 = 600$  витків,  $R = 80,6$  Ом, варіант графічних залежностей – 3,  $W_1 / W_2 = 1,4$ ;  $W_3 / W_2 = 1,5$ , що відповідає  $W_1 = 840$ ,  $W_3 = 900$  при загальній кількості витків обмотки – 2 340.

Приклад 2. Технічні дані та вимоги: тип датчика БМ159-Д, кут розвору шкали  $\alpha_{шк} = 75^\circ$ , кількість контрольних позначок шкали – 3, з симетричним розміщенням позначки "0,5" відносно початкової та кінцевої позначок шкали.

Прийнятний варіант розрахунку:  $W_2 = 400$  витків,  $R = 100$  Ом, варіант графічних залежностей – 3,  $W_1 / W_2 = 3$ ;  $W_3 / W_2 = 1,5$ , коли  $W_1 = 1200$ ,  $W_3 = 600$ , загальна кількість витків обмотки – 2 200.

Приклад 3. Технічні дані та вимоги: тип датчика БМ125, кут розвору шкали  $\alpha_{шк} = 75^\circ$ , кількість контрольних позначок – 4, (0; 0,25; 0,5; П ступінь заповнення бака), розташування позначок рівномірне.

Варіант розрахунку:  $W_2 = 500$  витків,  $R = 90,9$  Ом, варіант графічних залежностей – 1,  $W_1 / W_2 = 3$ ;  $W_3 / W_2 = 0,5$ , ( $W_1 = 1500$ ,  $W_3 = 250$ ), загальна кількість витків обмотки – 2 250.

Відповідність кута відхилення рухомої системи на позначці "0,25" ( $\alpha_{0,25}$ ) технічним вимогам може бути визначена за формулою (5) після уточнення опору датчика при ступеню заповнення бака 0,25.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Попов В.А. Автотракторные приборы. – М.: Машгиз. – С. 402.
2. Куніцький А.В. Розрахунок опору секцій обмотки магнітоелектричного логометра // Вісник ЖІТІ, 1997. – № 6. – С. 68–72.

КУНИЦЬКИЙ Анатолій Володимирович – асистент кафедри геотехнології і промислової екології Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– магнітоелектричні вимірювальні механізми приладів.