

**ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕПЛОВИХ
РЕЖИМІВ РОБОТИ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ
ПРИ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГ**

Стьопін Ю. О., Попова І. О., Перова Н. П.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Робота присвячена дослідженню роботи асинхронних електродвигунів при несиметрії напруг у сільськогосподарських електричних мережах. Приведена методика планування експерименту з досліджень теплових режимів електродвигунів в установлених режимах при несиметрії напруг.

Постановка проблеми. Дослідження режимів роботи сільських розподільних мереж 0,38/0,22 кВ, до яких приєднано електрообладнання господарств, свідчить про те, що в наслідок значної протяжності низьковольтних мереж, а також змішаного підключення однофазних та трифазних споживачів (де загальна потужність однофазних споживачів часто перевищує потужність трифазних) має місце недопустима несиметрія струмів та напруг.

В реальних умовах експлуатації електроспоживачів України несиметричний режим є звичайним робочим режимом сільських мереж 0,38/0,22 кВ [1].

Несиметрія виявляється у різкому погіршенні техніко-економічних характеристик елементів мережі (зниженні експлуатаційної надійності і терміну роботи електродвигунів, виникненні ряду негативних явищ у мережах та ін.). Додаткові втрати у лініях 0,38 кВ, розподільних і споживчих трансформаторах тільки із-за нерівномірного навантаження по фазам складають 4% від всієї електроенергії, що споживає сільське господарство.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження [5] показали, що відхилення напруги у сільських споживачів значно перевищують норми, що встановленні ГОСТ 13109-97. В господарствах, найбільш віддалених від джерел живлення, відхилення напруги знаходиться у допустимих межах тільки 54% часу, а нерівномірність навантаження фаз коливається в межах 16-22%. Математичне очікування величини несиметрії напруг по даним [4] складає 7,3%, що значно перевищує вимоги ГОСТ 13109-97. Напруга прямої послідовності складає 89% від номінальної, що на 3,5% нижче мінімально допустимої на затискачах електродвигунів по умовам їх пуску у симетричному режимі.

Формулювання мети статті. На основі методики планування експерименту визначити кількість проводимих досліджень теплових процесів асинхронних електродвигунів при несиметрії напруг.

Основна частина. Експериментальні дослідження охоплювали групу електродвигунів різноманітної потужності. Кожен двигун випробовувався у декількох параметрах експлуатації: тривалість роботи, тобто у режимах S1, S2, S3 (умовне позначення параметра - P_3); механічне навантаження на валу двигуна (відповідно - P_k); ступінь несиметрії підведених напруг (параметр P^e), температура навколишнього середовища (параметр P_t). Діапазон зміни кожного параметра ви-

значено статистичними даними вимірювань та спостережень [7].

В межах діапазону кожного параметра задавалося декілька його значень, при яких знімалися характеристики нагріву електродвигунів.

Передбачалась наступна кількість значень кожного з параметрів:

$$P_3 = 3;$$

$$P_k = 5;$$

$$P^e = 6;$$

$$P_t = 4$$

Таким чином, загальна кількість проводимих дослідів повинна бути:

$$P_3 \cdot P_k \cdot P^e \cdot P_t = 3 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 4 = 360$$

Методика планування експерименту дозволяє суттєво скоротити кількість проводимих дослідів.

Функція цілі плануемого експерименту є стала температура нагріву обмоток електродвигуна. Варіюемими факторами є:

X_1 – температура навколишнього середовища;

X_2 – коефіцієнт механічного навантаження двигуна;

X_3 – коефіцієнт несиметрії підведених напруг.

Нижче представлена таблиця рівнів варіювання вхідних факторів.

Таблиця 1 – Рівні варіювання вхідних факторів

Рівні	Позначення	Фактори		
		X_1	X_2	X_3
Нульовий	0	25 °C	0,8	9 %
Верхній	+1	40 °C	1,2	15 %
Нижній	-1	10 °C	0,4	3 %
Інтервал вар'ювання	λ_i	15 °C	0,4	6 %

Для трьох змінних факторів приймається план повного факторного експерименту ПФЕ (типу 2^3) [3]. Рівняння регресії ПФЕ типу 2^3 буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} \bar{y} = & B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + B_3 \cdot X_3 \\ & + B_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + B_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + B_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + \\ & + B_{123} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \end{aligned} \quad (1)$$

де B – коефіцієнт управління.

Матриця планування (МП) та результат експериментальних даних приведені в табл. 2. Значення функції цілі, що перевищують допустиму температуру нагріву обмоток, отримані за допомогою добудовування характеристики нагріву за відомою методикою [2].

Значення сталих температур \bar{y} отримані як середнє від триразових повторів експерименту

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^m Y_i}{m} \quad (2)$$

Пострічкові дисперсії визначалися за формулою:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^m Y_i^2 - m \cdot \bar{y}^2}{m - 1} \quad (3)$$

Перевірка однорідності пострічкових дисперсій здійснена згідно критерію Кохрана, для чого визначалося дисперсійне відношення:

$$G_{\max} = \frac{D_{\max}}{\sum D_i} \quad (4)$$

Після підставлення у попередню формулу відповідних значень, отримуємо:

$$G_{\max} = 0,22.$$

Розраховане значення G_{\max} порівнювалося із табличним (критичним) значенням G - критерію для прийнятого рівня значущості $g = 0,05$ і для чисел в ступені свободи чисельника та знаменника відповідно:

$$v_{\text{числ.}} = m - 1$$

$$v_{\text{зн.}} = N$$

де N – кількість стрічок матриці планування.

$$G_{\text{кр.}} = 0,5157$$

Оскільки виконується умова:

$$G_{\max} < G_{\text{кр.}}$$

всі пострічкові дисперсії визнаються однорідними.

Дисперсія відтворюваності визначається як середнє значення всіх пострічкових дисперсій.

$$D_B = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D \quad (5)$$

Розрахунок коефіцієнтів управління регресією здійснювалася за формулою:

$$B_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \bar{Y} \quad (6)$$

Таким чином, управління регресією має вигляд:

$$\begin{aligned} \bar{Y} = & 134,25 + 15X_1 + 47,75X_2 + 31,63X_3 \\ & + 0,125X_{12} - 0,125X_{13} + 3,125X_{23} - \\ & - 0,125X_1 \end{aligned} \quad (7)$$

Систематична оцінка значущості коефіцієнтів проведена за критерієм Стьюдента

$$t_i = \frac{|B_i|}{S} \quad (8)$$

де S – статистична оцінка похибки визначення коефіцієнтів.

$$S = \sqrt{\frac{D_B}{N_\gamma}} \quad (9)$$

Отримане значення порівнювалося із критичним значенням $t_{\text{кр.}}$, яке обирається для прийнятого рівня значущості $g = 0,05$ та числа ступенів свободи:

$$f = N(\gamma - 1) = 8 \cdot (3 - 1) = 16$$

По таблиці t - критерію знаходимо:

$$t_{\text{кр.}} = 2,119.$$

Рівняння регресії із урахуванням значущості коефіцієнтів запишеться:

$$\begin{aligned} \bar{Y} = & 134,25 + 15X_1 + 47,75X_2 + \\ & + 31,63X_3 + 3,125X_{23} \end{aligned} \quad (10)$$

Статистична перевірка адекватності рівняння регресії експериментальним даним здійснювалася за F -критерієм Фішера, для чого розраховувалася дисперсія адекватності:

$$D = \frac{m}{(N - d)} \sum_{i=1}^N (\bar{Y} - \tilde{Y})^2 \quad (11)$$

де d – кількість членів рівняння регресії;

\tilde{Y} – значення функції цілі, що розраховане за отриманим рівнянням регресії.

Розрахунок представлено у вигляді табл. 3. Величина дисперсії адекватності $D_{ad}=0,21$. Визначаємо F – відношення за формулою:

$$F = \frac{D_{ad}}{D_g} \quad (12)$$

Для нашого випадку маємо:

$$F = 0,21/56 = 0,004$$

По таблиці F - критерія для $g = 0,05$ та чисел ступенів свободи

$$v_1 = N - d = 8 - 5 = 3$$

$$i \quad v_2 = N(m - 1) = 8(3 - 1) = 16$$

знаходимо:

$$F_{кр.} = F_{табл.} = 3,24$$

Таблиця 2 - Значення функцій цілі

Но- мер експе- римен- ту	X_1	X_2	X_3	\bar{Y}	\tilde{Y}	$(\bar{Y} - \tilde{Y})^2$
1	+	+	+	232	231,75	0,05
2	-	+	+	202	201,755	0,05
3	+	-	+	130	130,005	0,0025
4	-	-	+	100	100,005	0,0025
5	+	+	-	162	162,245	0,0025
6	-	+	-	132	132,245	0,05
7	+	-	-	73	72,995	0,0025
8	-	-	-	43	42,995	0,0025

Оскільки виконується умова $F < F_{кр.}$, то гіпотеза про адекватність рівняння регресії (10) експериментальним даним приймається.

Висновки. Таким чином, використовуючи рівняння регресії (7) і підставляючи в нього значення варіюємих факторів, можна із достатньою точністю визначити функцію цілі (тобто сталу температуру нагріву обмоток електродвигуна) і тим самим значно знизити кількість проводимих експериментів.

Список використаних джерел

1. Бакумов Ю. В. Влияние температуры окружающей среды на тепловое состояние обремененных

асинхронных двигателей / Ю. В. Бакумов // Электротехника. – 1974. - №3. – С. 31-33.

2. Готтер Г. В. Нагревание и охлаждение электрических машин / Г. В. Готтер. - М.: Госэнергоиздат, 1961.- 460 с.

3. Ивоботенко Б. А. Планирование эксперимента в электромеханике / Б. А.Ивоботенко, Н. Ф. Ильинский, И. П. Копылов. – М.: Энергия, 1975. - 460 с.

4. Деменин В. Н. Анализ несимметрии в сельских сетях Новосибирской области / В. Н. Деменин // Механизация и электрификация сельского хозяйства Сибири. – 1978. - №3. – с. 21-24.

5. Нарожный В. Б. Отключение напряжения в электрических сетях / В. Б. Нарожный // Электрические станции. – 1970. - №1. – с. 55-59.

6. Рожавский С. М. Проблемы несимметрии в сельскохозяйственных электрических сетях / С. М. Рожавский // Энергетика и электрификация. – 1981. – вып. 1. – С. 14-16.

7. Рожавский С. М. Нагрев и магнитная вибрация электродвигателей при работе в сельскохозяйственных сетях напряжением 380 В / С. М. Рожавский, Т. Л. Заварская. – М.: Информэлектро, Серия ТС – 1. Электрические машины, 1982. – 55 с.

Аннотация

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ

Стёпин Ю. А., Попова И. А.,
Перова Н. П.

Работа посвящена исследованию работы асинхронных электродвигателей при несимметрии напряжений в сельскохозяйственных электрических сетях. Приведена методика планирования эксперимента по исследованию тепловых режимов электродвигателей в установившихся режимах при несимметрии напряжений.

Abstract

RESEARCH OF ASYNCHRONOUS MOTORS' WORK UNDER TENSION ASYMMETRY IN TRANSIENT CONDITIONS

Yu. Styopin, I. Popova,
N. Perova

The given paper researches the work of asynchronous motors under tension asymmetry in agricultural electrical system. The paper planmethodik of the experiment on thermal condition research of motors in steady-state conditions under tension asymmetry.