

# АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ФАКТОРОВ НА РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЕРРОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО УКАЗАТЕЛЯ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

С.В. Шленнёв, И.А. Бершадский

Донецкий государственный технический университет

serguei@elf.dgtu.donetsk.ua

ilya@elf.dgtu.donetsk.ua

The paper is devoted to the decision of question about the rise of the effectiveness of the work of ferrohydrodynamic the indicator of current short circuit (FICSC) depending on various factors. Is shown influence on the working characteristics FICSC the thickness of magnetic system FICSC, of angle between poles of magnetoconductor, the positions of the indicative chamber of device as to vertical coordinate. By means of the method of the planning of experiment of the Nelder-Mead are developed mathematical models describing the dependence of work FICSC from input factors.

Оценим влияние толщины магнитной системы ( $Z_1$ , мм) феррогидродинамического указателя тока короткого замыкания (ФУТКЗ) [1], угла между полюсами магнитопровода ( $Z_2$ , град.), положения рабочей камеры устройства по координате  $y$  ( $Z_3$ , мм) на величину уровня затемнения индикаторного знака прибора  $\Delta y$  в течение полного времени его рабочего цикла. Такую оценку удобно выполнять, используя методы теории планирования эксперимента [2-5]. В частности, удобным и достоверным методом считается модифицированный симплексный метод Нелдера-Мида, преимуществом которого является при наличии  $n$  факторов на входе необходимость начальной постановки только  $(n+1)$  опытов с последующей пошаговой постановкой всего лишь одного опыта [2,3].

Определим исходные данные для планирования эксперимента. При этом будем учитывать особенности срабатывания и возврата ФУТКЗ в исходное состояние с течением времени, влияние технологии заполнения исполнительного элемента устройства. На основании изложенного выше установлена следующая область определения факторов:  $3 \leq Z_1 \leq 15$ ;  $5 \leq Z_2 \leq 35$ ;  $40 \leq Z_3 \leq 70$ .

Результаты экспериментальных исследований после отбрасывания худших условий проведения опытов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты эксперимента в натуральной форме

№ опыта	ФАКТОРЫ			СРЕДНИЙ УРОВЕНЬ ЗАТЕМНЕНИЯ $\Delta \bar{y}$ , мм			
	$Z_1$ , мм	$Z_2$ , °	$Z_3$ , мм	Режим срабатывания	Режим возврата		
					1 час	2 часа	3 часа
1	6	5	70	36	28	23.2	18.2
2	12	8	50	40.8	32.1	26.1	18.7
3	6	20	61	48.9	32.4	23.9	16
4	9	11	60	44	33.3	28.7	24.3
5	12	8	60	41.4	35.1	30.2	25
6	12	11	50	43.2	38.5	30.4	22.3
7	12	12	64	46.5	42	30.9	21.3
8	12	11	60	45.9	38.3	34.1	30.3
9	12	11	55	48.1	39.4	37	34

При подборе математических моделей в виде полиномов первого и более высоких порядков необходимо стремиться получить простое выражение [4]. В нашем случае, например, такой полином следует представить следующим образом:

$$\hat{y} = \pm b_0 \pm b_1 \cdot Z_1 \pm b_2 \cdot Z_2 \pm b_3 \cdot Z_3, \quad (1)$$

где  $b_0$ - $b_3$  – коэффициенты регрессии,

$Z_1$ - $Z_3$  – входные факторы в натуральных величинах.

По методу наименьших квадратов с применением ЭВМ получены математические модели в натуральной форме следующего вида:

Режим срабатывания ФУТКЗ:

$$\hat{y}_0 = 19.2 + 0.35Z_1 + 1.11Z_2 + 0.13Z_3. \quad (2)$$

Режим возврата ФУТКЗ:

$$\hat{y}_1 = -5.33 + 1.28Z_1 + 1.14Z_2 + 0.2Z_3, \quad (3)$$

$$\hat{y}_2 = -19 + 1.91Z_1 + 0.74Z_2 + 0.31Z_3, \quad (4)$$

$$\hat{y}_3 = -9.45 + 1.7Z_1 + 0.09Z_2 + 0.25Z_3. \quad (5)$$

Статистический анализ уравнений (2)-(5), приведенных к безразмерному виду, показал, что все они неадекватно описывают результаты экспериментальных исследований. Для уравнения (2) незначимыми оказались коэффициенты  $b_1$  и  $b_3$ , для уравнения (3) – коэффициент  $b_3$ , для уравнения (4) – коэффициент  $b_1$ , а для уравнения (5) – коэффициенты  $b_2$  и  $b_3$ . Обычно в таких случаях следует пересчитывать коэффициенты уравнения регрессии данного порядка или подбирать математическую модель в виде полинома более высокого порядка.

Проанализируем возможность сохранения уравнения регрессии первого порядка с учетом отбрасывания некоторых коэффициентов. На основании предварительно выполненных исследований и сведений, приведенных в [1], можно сделать вывод о том, что увеличение толщины магнитной системы ФУТКЗ с 6 мм до 9 мм и выше при токе КЗ  $I_{КЗ}=2000 \text{ A}=\text{const}$  не дает заметного возрастания уровня затемнения индикаторного знака устройства в режиме срабатывания. Это объясняется насыщением магнитопровода ФУТКЗ. Кроме того, если рабочая камера ФУТКЗ находится в диапазоне (50-70) мм, то результаты хода ферросuspензии в ней стабильны и незначительно отличаются друг от друга. Исходя из изложенного, исключим из уравнений (2)-(5) коэффициенты  $b_1$  и  $b_3$ . В результате математические модели в безразмерной форме принимают следующий вид:

Режим срабатывания ФУТКЗ:

$$\hat{y}_0 = 57.1 + 36.1X_2. \quad (6)$$

Режим возврата ФУТКЗ:

$$\hat{y}_1 = 44.9 + 31.5X_2, \quad (7)$$

$$\hat{y}_2 = 32.7 + 13.8X_2, \quad (8)$$

$$\hat{y}_3 = 19.7 + 11.6X_2. \quad (9)$$

Уравнения (6)-(9) адекватны эксперименту. Их адекватность проверялась по критерию Фишера с учетом уровня значимости  $\alpha=5\%$ . Для уравнения (6) – расчетное значение критерия Фишера –  $F_p=2.3$ , для уравнения (7) –  $F_p=2.9$ , для уравнения (8) –  $F_p=2.03$ , для уравнения (9) –  $F_p=2$ . Табличное значение критерия Фишера  $F_1$  во всех случаях равно 3.55 [2].

Выводы.

- наиболее существенно на рабочие характеристики ФУТКЗ влияет угол между полюсами магнитной системы, поскольку при его изменении меняется значение градиента магнитного поля в межполюсном пространстве устройства в широких пределах;

- математические модели (6)-(9) получены в виде уравнений прямых линий, что делает удобным их применение для практических расчетов и последующих исследований режимов работы ФУТКЗ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шлепнёв С.В. Создание феррогидродинамических указателей тока короткого замыкания с улучшенными техническими характеристиками/Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Д.:ДонГТУ, 1998. – 177 с.
2. Бондарь А.Г., Статюха Г.А., Потяженко И.А. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии. - К.:Вища школа, 1980. - 264 с.
3. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. - М.:Химия, 1985. - 448 с.
4. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.:Наука, 1976. – 280 с.
5. Ивоботенко Б.А., Ильинский Н.Ф., Копылов И.П. Планирование эксперимента в электромеханике. – М.:Энергия, 1975. – 184 с.