

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УКАЗАТЕЛЯ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ИХ РЕГУЛИРОВКИ И СОГЛАСОВАНИЯ С ДЕЙСТВИЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Бершадский И.А., Шленнёв С.В.

Донецкий государственный технический университет

ilya@elf.dgtu.donetsk.ua

serguei@elf.dgtu.donetsk.ua

The paper is devoted to the development of the operational methods of the regulation of the characteristics of ferrohydrodynamic the indicator of current short circuit (FICSC) as to current of operating and time of return. In the basis of the methods of setups is put the real-time replacement of instrument's the constructive parameters. Is shown the possibility of the matching of the object characteristics of device with relays defence of the line of distributional network.

Одним из недостатков существующего феррогидродинамического указателя тока короткого замыкания (ФУТКЗ) [1] являлось отсутствие каких-либо уставок и регулировок, что ограничивало область применения, не позволяло согласовать его работу с релейной защитой линий. Для преодоления этого положения необходимо разработать методы регулирования характеристик указателя (тока срабатывания и времени возврата) в зависимости от его конструктивных факторов, а также получить его времятоковые характеристики (зависимости тока КЗ от времени срабатывания).

Расширение функциональных возможностей указателя может быть достигнуто при использовании электронного индикаторного порогового устройства, позволяющего контролировать заранее заданный уровень затемнения рабочей камеры [2].

Рассмотрим результаты исследований, касающиеся регулировки основных рабочих характеристик прибора.

Установлено, что изменяя ряд конструктивных факторов, можно регулировать два существенных для аппарата рассматриваемого класса параметра – ток срабатывания  $I_c$  и время возврата  $t_v$ . К числу этих факторов относятся по  $I_c$ :

- группа а) число листов магнитопровода  $N$ , положение верхнего слоя ферросуспензии  $y_1$ , тип ферромагнитного интенсификатора  $I$ , процентное соотношение немагнитной добавки и ферропорошка  $n$ , диаметр индикаторной камеры  $d_k$ ;

- группа б) характер профиля полюсных наконечников, диаметр феррочастиц, наличие магнитного шунта и его сечение.

По  $t_v$ : вязкость жидкой фазы суспензии, тип немагнитной добавки и её крупность  $d_{эф}$ , чувствительность компаратора порогового устройства  $u_c$ . Последний способ обеспечивает время возврата до 7 часов.

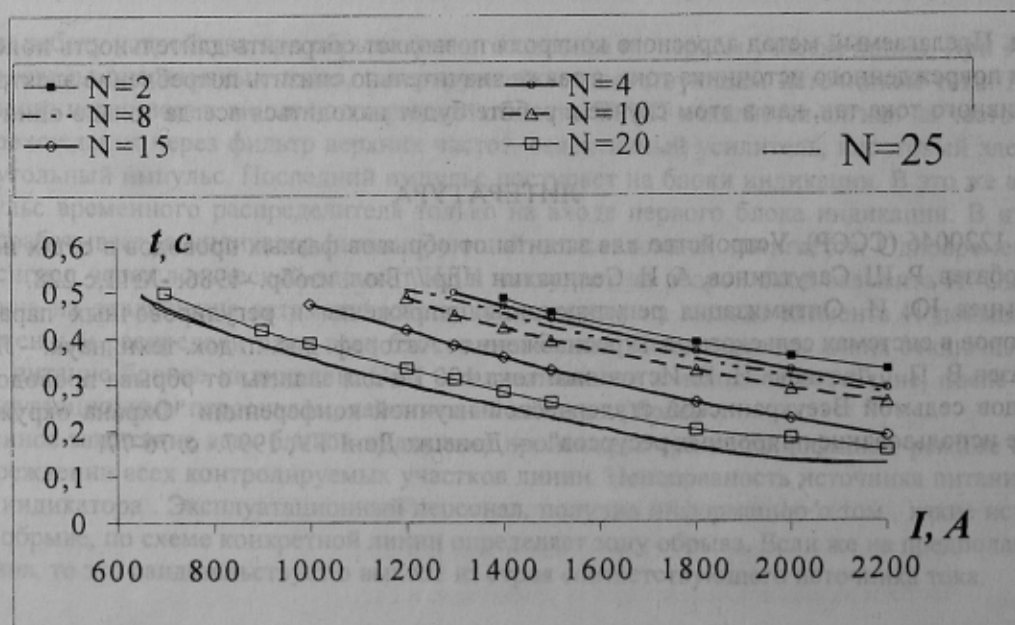


Рисунок 1 – Времятоковые характеристики гидравлического ФУТКЗ ( $I_1$ ,  $\tau=27^\circ\text{C}$ ,  $D_{у\geq 3}$  ч)

Так как ФУТКЗ является инерционным прибором (инерция обусловлена характером противодействующих сил), время его срабатывания  $t_c$  зависит от тока КЗ аналогично времятоковым характеристикам плавких вставок предохранителя. На рис.1 приведены времятоковые характеристики указателя при следующих постоянных условиях: температура окружающей среды  $t=+27^\circ\text{C}$ , ферромагнитный интенсификатор И1, высота подъема ферросуспензии  $\Delta y > 35$  мм, время возврата  $t_v > 3$  ч. Использование полученных характеристик позволяет согласовать действие ФУТКЗ с релейными защитами линий.

Практический интерес с точки зрения уменьшения тока срабатывания и регулировки характеристик ФУТКЗ представляет вопрос о выборе типа ферромагнитного интенсификатора (ФИ). Как указывается в [3], магнитная пондеромоторная сила зависит от формы, размеров и природы извлекаемого тела, а также свойств магнитного поля  $H_{\text{grad}H}$ . Магнитная восприимчивость тела  $\chi_0$  определяется его формой:

$$\chi_0 = \frac{\chi}{1 + N\chi}, \quad (1)$$

где  $\chi$  - магнитная восприимчивость вещества,

$N$  - коэффициент размагничивания [3].

$$N = \frac{\lambda \ln(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) - \sqrt{\lambda^2 - 1}}{\sqrt{\lambda^2 - 1}^3}, \quad (2)$$

где  $\lambda$  - формфактор (отношение длины ферромагнитного тела  $l$  к его диаметру  $d$ ).

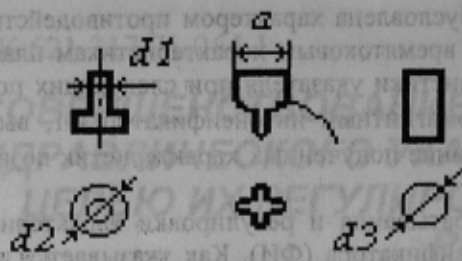
Известно, что прочих равных условиях для обеспечения подъема тел с большим  $\lambda$  требуется меньшая магнитная сила, определяемая качеством электромагнита [3]. Наши исследования [4] показали соответствие этому положению, поэтому рекомендовано использование стержнеобразных несимметричных тел с  $\lambda=2,66$ . Однако, дальнейшие исследования показали, что минимальный ток, обеспечивающий подъем такого интенсификатора, даже при условии увеличения  $\lambda$  до 4 составляет  $I_{\text{минИ}}=700-720$  А. Более существенное уменьшение  $I_{\text{минИ}}$  может быть достигнуто применением ФИ в виде "пропеллера" с фиксацией положения последнего в верхних слоях суспензии (см. табл. 1, И2 и рис.2). Использование такой магнитомягкой детали позволило снизить  $I_{\text{минИ}}$  до 550-600 А.

Таким образом, в настоящей работе предлагается производить регулирование тока срабатывания по следующим наиболее употребимым в эксплуатации параметрам:  $N$ ,  $y_1$ , И,  $n$ . Их рекомендуемые значения и соответствующие уставки приведены на карте регулировок в табл.1 ( $d_1=3$  мм для И1, 2 мм для И1\*,  $d_2=d_3=5$  мм,  $a=4$  мм) и на рис.2.

Если процентное соотношение немагнитной добавки соответствует  $n_2$ , то приведенные в табл.1 данные смещаются на 3 ступени в сторону больших токов. В процессе исследования опытных образцов принимались три угла скоса полюсов:  $\alpha_{01} = 11^\circ$ ,  $\alpha_{02} = 8^\circ$ ,  $\alpha_{03} = 6^\circ$ ; также изменялся уровень установки камеры ( $y_{\text{нач}} = 40-70$  мм) и уровень первоначально засыпаемого порошка (10-35 мм).

Таблица 1 – Карта регулировок ФУТКЗ ( $t_c > 0,4$  с,  $t_v < 3$  ч,  $n_1$ )

N	$I_c, \text{A}$							
	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600
4	--	--	--	--	--	У <sub>2</sub> И1	У <sub>3</sub> И1	У <sub>1</sub> И1
8	--	--	У <sub>5</sub> И1	У <sub>2</sub> , У <sub>3</sub> И1, И3	У <sub>1</sub> И1	--	--	--
15	У <sub>2</sub> , У <sub>3</sub> И2	У <sub>3</sub> , У <sub>4</sub> И1, И1*	У <sub>4</sub> И1*	--	--	У <sub>2</sub> И3	У <sub>1</sub> И1	--
20	У <sub>2</sub> , У <sub>3</sub> И2	У <sub>2</sub> , У <sub>4</sub> И1, И3	--	У <sub>1</sub> И1	У <sub>3</sub> И1	--	--	--
25	У <sub>2</sub> , У <sub>3</sub> И2	У <sub>2</sub> , У <sub>3</sub> И1, И3	У <sub>4</sub> , У <sub>5</sub> И1, И1*	У <sub>1</sub> И1	У <sub>2</sub> И1, И3	--	--	--



$n_1=10..15\%$   
 $n_2=20..25\%$   
 $y_1, y_2, y_3, y_4,$   
 $y_5=60,50,45,40,35$  мм

$h_n=50$  мм  
 $\alpha=10^\circ$   
 Толщина листа 1 мм

Рисунок 2 – Типы ферромагнитных интенсификаторов и рекомендуемые параметры регулировок

Время подъема, возврата в исходное состояние определяется типом ферросуспензии, используемой в указателе. Колебание температуры окружающей среды особенно проявляется при установке указателя на открытом воздухе. Моделирование ситуации при низких температурах возможно с применением климатических камер, в которые помещаются индикаторные колбы и выдерживаются затем в течение времени охлаждения (не менее 30 мин). Впоследствии на стенде при токах КЗ проводятся испытания и наблюдения за оседанием суспензии (время возврата  $t_{\text{в}}$   $\geq 3$  часа). Такие исследования были проведены в лаборатории Украинского государственного научно-исследовательского института пластмасс в криокамере, в качестве рабочего элемента которой использовался жидкий азот. Результаты испытаний в виде графических зависимостей  $\Delta y=f(\tau)$  для  $t=0, 1, 2, 3$  ч приведены на рис.3. Они показывают, что ФУТКЗ может обеспечить удовлетворительную работу без дополнительных мер до температуры  $\tau=-23^\circ\text{C}$ .

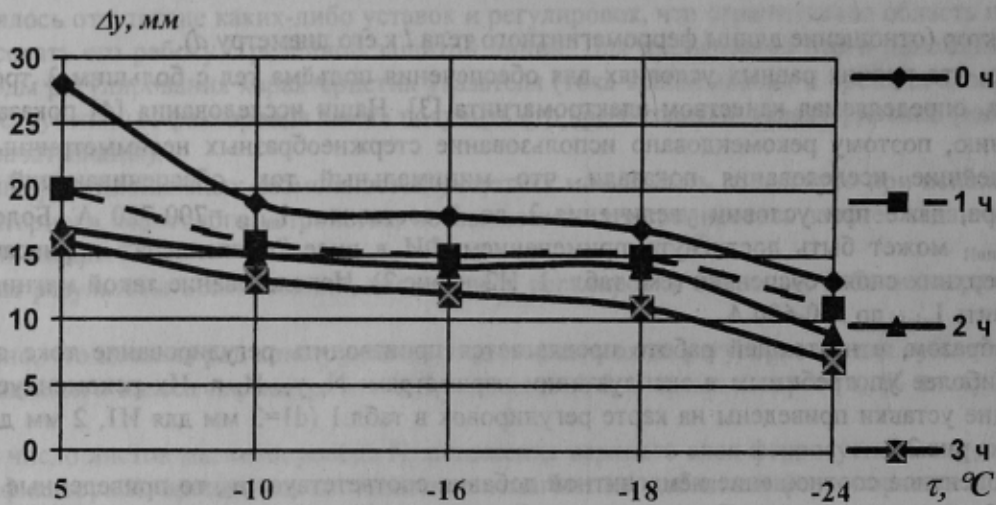


Рисунок 3 – Экспериментальные исследования функционирования ФУТКЗ при изменении температуры окружающей среды

#### Выводы:

1. Предложены эксплуатационные методы регулирования характеристик феррогидродинамического указателя по току срабатывания  $I_c$  и времени возврата  $t_{\text{в}}$  (до 7 часов), основанные на оперативной замене конструктивных параметров прибора. Составлена карта регулировок ФУТКЗ.
2. Анализ зависимостей, приведенных на рис.3 показал, что при использовании в качестве рабочей жидкости 50 % водного раствора этиленгликоля диапазон рабочих температур на открытом воздухе составляет  $-24^\circ\text{C}...+40^\circ\text{C}$ .
3. В случаях с иными техническими условиями область внедрения ФУТКЗ может изменяться как в сторону ограничения, так и в сторону расширения.

#### 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. Бершадский И.А. Феррогидродинамический указатель тока для воздушной линии с бесконтактной передачей информации о достижении порогового значения//Вестник Приазовского государственного технического университета. – 1999. Вып.8. – С.193-196.
3. Сумцов В.Ф. Электромагнитные железоотделители. – М.: Машиностроение, 1978. – 174 с.
4. Баринберг А.Д., Елиософ В.А., Шлепнёв С.В., Бершадский И.А. и др. Анализ основных динамических параметров феррогидродинамических указателей тока короткого замыкания//Доклады региональной научной конференции «Творческое наследие В.И. Вернадского и современность». Секция 4 «Актуальные проблемы вычислительной техники, информатики и энергетики». Часть 2. – Донецк: ДонГТУ. –1995. – С.85.