Filyus Safin, Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Cars and machine-and-tractor aggregates department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», 450001, Ufa, 50-letiya Oktyabrya St., 34, phone: +7 (347) 252-57-93, e-mail: fils02@mail.ru.

The main part of the energy in agricultural production is generated by diesel engines, the fuel consumption of which is determined by their technical condition, evaluated by mechanical efficiency, determined on special break-in brake stands. The dismantling and installation work and transport operations necessary for this significantly increase the cost of servicing diesel engines. These costs can be reduced by identifying and eliminating malfunctions of diesel engines in the «field» conditions without dismantling them from the machines using the Bashkir SAU method. Its essence is that the di-

agnosis and regulation of diesel fuel equipment is carried out when they work with load regulation by skipping fuel injections. At the same time, it turns out that the diesel engine at idle rated speeds performs the function of an adjusting stand. Tests using a four-cylinder four-stroke 4C11/13 diesel engine showed that the proposed method is simple and highly accurate in determining mechanical efficiency. Based on experimental studies, a «field» method for diagnosing and regulating diesel engines is recommended. This technique can be successfully applied in agricultural production.

© Сафин Ф.Р.

УДК 621.315

DOI: 10.31563/1684-7628-2020-54-2-126-131

В.А. Солдатов, В.С. Захаров

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ В СЕТИ 35 кВ

Ключевые слова: *определение места повреждения; критерии; электрическая сеть; погрешность; фидер 35 кВ.*

Введение. Для высоковольтных сетей 110 кВ и выше вопрос определения места повреждения (ОМП) достаточно проработан [1–3]. Для сетей среднего напряжения 6–10–35 кВ необходимо разрабатывать свои новые методы ОМП.

Цель исследований. Сети 6–10–35 кВ работают с изолированной нейтралью и поэтому в них замыкания на землю не являются короткими замыканиями. Это затрудняет задачу ОМП. Кроме того, сети 35 кВ часто работают с трехобмоточным питающим трансформатором, что также является их особенностью. Цель данной работы – разработка дистанционного метода ОМП для сетей 35 кВ, работающих с трехобмоточным питающим трансформатором.

В сетях 6–10–35 кВ аварийные режимы (АР) с замыканиями на землю и обрывами составляют до 70 % от всех возможных повреждений [1–3]. Также в сетях 110 кВ и выше длины линий и отключающие мощности много больше, чем в сетях 6–10–35 кВ. Приборы ОМП для сетей 110 кВ имеют высокую стоимость и их трудно оправдать в сетях 6–10–35 кВ (например, стоимость «Сириус-2-ОМП» составляет порядка 90 тысяч рублей) [4].

Материалы и методы исследования. Методам расчета аварийных режимов и определению их места возникновения посвящены работы [5–7]. В [8, 9] рассмотрен метод ОМП, основанный на применении эмпирических критериев. Критерии представляют собой формулы, индивидуальные для каждого вида АР. В числитель формулы помещаются напряжения и токи, увеличивающиеся при перемещении точки аварии вдоль длины линии, а в знаменатель – уменьшающиеся. Параметры, которые не изменяются, – не учитываются. Это позволяет всегда получать график критерия с большой крутизной и определять место повреждения с достаточной точностью.

Для ОМП в сетях 6–10–35 кВ можно использовать так называемые эмпирические критерии. Критерии были получены для трех случаев, когда использовались напряжения и токи: в начале линии [10], в конце линии [12], а также в начале и в конце линии одновременно. Исследования проведены на примере фидера 35 кВ, отходящего от питающего трехобмоточного трансформатора [11]. От этого трансформатора отходит также фидер 10 кВ. Расчетная схема представ-

лена на рисунке 1. На нем обозначены участки линий 10 кВ и 35 кВ; питающий и потребитель-

ские трансформаторы; нагрузки; блоки несимметрии.

Рисунок 1
Фидера 10 кВ и 35 кВ

Для сравнения в таблицах 1 и 2 представлены эмпирические критерии, полученные по напряжениям и токам в начале линии 35 кВ [10] и в конце линии [12]. Критерии представлены для режимов с поврежденными фазами А, В и С. Критерии зависят от фазных напряжений и токов $U_a, U_b, U_c, I_a, I_b, I_c$.

Напряжения и токи рассчитывались методом фазных координат [13–16].

Из таблиц 1 и 2 видно, что полученные критерии «по началу» и «по концу» линии отличаются. Критерии «по началу» используют напряжения и токи до повреждения, а критерии «по концу» – после.

Таблица 1 Формулы для эмпирических критериев при использовании напряжений и токов в начале линии

Вид АР	Поврежденная фаза А	Поврежденная фаза В	Поврежденная фаза С
A0, B0, C0	$K_{A-0} = \frac{U_a}{U_b \cdot U_c}$	$K_{B-0} = \frac{U_b}{U_a \cdot U_c}$	$K_{C-0} = \frac{U_c}{U_a \cdot U_b}$
AB, BC, AC	$K_{AB} = \frac{U_a \cdot U_b}{I_a \cdot I_b}$	$K_{BC} = \frac{U_b \cdot U_c}{I_b \cdot I_c}$	$K_{AC} = \frac{U_a \cdot U_c}{I_a \cdot I_c}$
ABC	$K_{ABC} = \frac{U_a \cdot U_b \cdot U_c}{I_a \cdot I_b \cdot I_c}$	$K_{ABC} = \frac{U_a \cdot U_b \cdot U_c}{I_a \cdot I_b \cdot I_c}$	$K_{ABC} = \frac{U_a \cdot U_b \cdot U_c}{I_a \cdot I_b \cdot I_c}$
A0 + B0, B0 + C0, A0 + C0	$K_{A-0+B-0} = \frac{U_a \cdot U_b}{I_a \cdot I_b}$	$K_{B-0+C-0} = \frac{U_b \cdot U_c}{I_b \cdot I_c}$	$K_{A-0+C-0} = \frac{U_a \cdot U_c}{I_a \cdot I_c}$
Обр. А, Обр. В, Обр. С	$K_{обрА} = \frac{U_b \cdot U_c \cdot I_a}{U_a}$	$K_{обрВ} = \frac{U_a \cdot U_c \cdot I_b}{U_b}$	$K_{обрС} = \frac{U_a \cdot U_b \cdot I_c}{U_c}$
A0 + Обр.А, B0 + Обр.В, C0 + Обр.С	$K_{A-0+обрА} = \frac{U_a}{I_a}$	$K_{B-0+обрВ} = \frac{U_b}{I_b}$	$K_{C-0+обрС} = \frac{U_c}{I_c}$
Обр.А + A0, Обр.В + B0, Обр.С + C0	$K_{обрА+A-0} = U_a \cdot I_a$	$K_{обрВ+B-0} = U_b \cdot I_b$	$K_{обрС+C-0} = U_c \cdot I_c$

Таблица 2 Формулы для эмпирических критериев при использовании напряжений и токов в конце линии

Вид АР	Поврежденная фаза А	Поврежденная фаза В	Поврежденная фаза С
A0, B0, C0	$K_{A-0} = \frac{1}{U_a}$	$K_{B-0} = \frac{1}{U_b}$	$K_{C-0} = \frac{1}{U_c}$
AB, BC, AC	–	–	–
ABC	–	–	–
A0 + B0, B0 + C0, A0 + C0	$K_{A-0+B-0} = \frac{1}{U_a \cdot U_b}$	$K_{B-0+C-0} = \frac{1}{U_b \cdot U_c}$	$K_{A-0+C-0} = \frac{1}{U_a \cdot U_c}$
Обр. А, Обр. В, Обр. С	$K_{обрА} = U_a \cdot U_b \cdot U_c$	$K_{обрВ} = U_a \cdot U_b \cdot U_c$	$K_{обрС} = U_a \cdot U_b \cdot U_c$
A0 + Обр.А, B0 + Обр.В, C0 + Обр.С	$K_{A-0+обрА} = \frac{1}{U_a \cdot I_a}$	$K_{B-0+обрВ} = \frac{1}{U_b \cdot I_b}$	$K_{C-0+обрС} = \frac{1}{U_c \cdot I_c}$
Обр.А + A0, Обр.В + B0, Обр.С + C0	$K_{обрА+A-0} = \frac{U_b \cdot I_a}{U_a \cdot U_c}$	$K_{обрВ+B-0} = \frac{U_c \cdot I_b}{U_a \cdot U_b}$	$K_{обрС+C-0} = \frac{U_a \cdot I_c}{U_b \cdot U_c}$

Например, для однофазного замыкания на землю фазы А получены следующие критерии:

$$K_{A-0, \text{начало}} = \frac{U_a}{U_b \cdot U_c} \quad K_{A-0, \text{конец}} = \frac{1}{U_a}.$$

По расчетным данным критериев в пяти точках линии были получены интерполяционные полиномы на основе матрицы Вандермонда [17], по которым определялось место повреждения.

Результаты исследований. Результаты расчетов погрешности ОМП для длины линии 40 км и 10 км сведены в таблицу 3 при погрешности

измерений $\pm 5\%$ и в таблицу 4 при погрешности измерений $\pm 0,5\%$. Погрешности указаны при повреждении, происходящем в середине линии (то есть соответственно в точках 20 км и 5 км). Кроме погрешностей, рассчитанных при осуществлении измерений отдельно в начале и в конце линии, представлены погрешности при измерениях и в начале, и в конце линии одновременно. При этом результирующий критерий представляет собой произведение значений критерия в начале и критерия в конце.

Таблица 3 Погрешности ОМП для длины линии 40 км и 10 км при погрешности измерений $\pm 5\%$

Вид АР		Протяженность линии 40 км			Протяженность линии 10 км		
		критерии «по началу»	критерии «по концу»	критерии «по началу и концу»	критерии «по началу»	критерии «по концу»	критерии «по началу и концу»
Однофазные замыкания на землю	Фаза А	5,035	0,043	0,022	4,850	0,049	0,025
	Фаза В	5,033	0,043	0,022	4,980	0,047	0,023
	Фаза С	5,080	0,043	0,022	5,180	0,049	0,025
Короткие замыкания	Фазы А–В	4,460	–	4,460	16,650	–	16,650
	Фазы В–С	4,560	–	4,560	17,150	–	17,150
	Фазы А–С	4,543	–	4,543	17,340	–	17,340
	Фазы А–В–С	1,670	–	1,670	1,680	–	1,680
Обрывы	Фаза А	3,975	4,325	2,093	3,980	4,300	2,100
	Фаза В	4,013	4,278	2,095	4,000	4,300	2,100
	Фаза С	3,993	4,283	2,093	4,010	4,290	2,110
Замыкания на землю с последующими обрывами	Фаза А	4,713	1,710	0,763	4,770	7,850	4,540
	Фаза В	4,730	1,803	0,803	4,920	8,000	4,620
	Фаза С	4,735	1,785	0,798	4,880	7,940	4,580
Обрывы с последующими замыканиями	Фаза А	4,913	0,180	0,088	4,960	0,180	0,083
	Фаза В	4,905	0,530	0,268	4,960	9,730	0,280
	Фаза С	4,928	0,453	0,230	4,940	3,430	0,210
Двойные замыкания на землю	Фазы А–В	2,515	2,510	2,763	2,560	30,110	2,370
	Фазы В–С	2,515	1,953	1,953	2,560	32,380	2,390
	Фазы А–С	2,515	2,395	3,600	2,570	31,040	2,380

Таблица 4 Погрешности ОМП для длины линии 40 км и 10 км при погрешности измерений $\pm 0,5\%$

Вид АР		Протяженность линии 40 км			Протяженность линии 10 км		
		критерии «по началу»	критерии «по концу»	критерии «по началу и концу»	критерии «по началу»	критерии «по концу»	критерии «по началу и концу»
Однофазные замыкания на землю	Фаза А	0,503	0,004	0,002	0,490	0,005	0,002
	Фаза В	0,503	0,004	0,002	0,500	0,005	0,002
	Фаза С	0,509	0,0039	0,0021	0,510	0,0049	0,0021
Короткие замыкания	Фазы А–В	0,448	–	0,448	1,701	–	1,701
	Фазы В–С	0,436	–	0,436	1,709	–	1,709
	Фазы А–С	0,455	–	0,455	1,730	–	1,730
	Фазы А–В–С	0,168	–	0,168	0,170	–	0,170
Обрывы	Фаза А	0,398	0,433	0,210	0,400	0,430	0,210
	Фаза В	0,400	0,428	0,210	0,400	0,430	0,210
	Фаза С	0,400	0,428	0,210	0,400	0,430	0,210
Замыкания на землю с последующими обрывами	Фаза А	0,473	0,170	0,075	0,480	0,790	0,460
	Фаза В	0,473	0,180	0,080	0,490	0,810	0,460
	Фаза С	0,473	0,178	0,080	0,490	0,800	0,460
Обрывы с последующими замыканиями	Фаза А	0,490	0,018	0,009	0,500	0,018	0,008
	Фаза В	0,490	0,053	0,028	0,500	1,090	1,110
	Фаза С	0,493	0,045	0,023	0,490	0,340	1,660
Двойные замыкания на землю	Фазы А–В	0,253	0,250	0,273	0,260	3,040	0,240
	Фазы В–С	0,253	0,195	0,195	0,260	3,280	0,240
	Фазы А–С	0,253	0,240	0,343	0,260	3,140	0,240

Из таблиц 3 и 4 видно, что погрешность ОМП сильно зависит от погрешности измерения.

При погрешности измерения $\pm 5\%$ погрешность ОМП составляет:

- для критериев «по началу» от 1,67 до 5 % при длине линии 40 км;

- для критериев «по концу» от 0,04 до 4,3 % при длине линии 40 км;

- для критериев «по началу и концу» от 0,022 до 4,56 % при длине линии 40 км;

- для критериев «по началу» от 1,68 до 5,1 % при длине линии 10 км (исключение составляют режимы двухфазных коротких замыканий, когда погрешность ОМП достигает 17,3 %);

- для критериев «по концу» от 0,047 до 9,7 % при длине линии 10 км (исключение составляют режимы двойных замыканий на землю, когда погрешность ОМП достигает 32,3 %);

- для критериев «по началу и концу» от 0,025 до 4,6 % при длине линии 10 км (исключение составляют режимы двухфазных коротких замыканий, когда погрешность ОМП достигает 17,3 %).

При малой длине линии 10 км погрешности ОМП больше, чем при длине линии 40 км, так как они представлены в процентах относительно длины линии.

При погрешности измерения $\pm 0,5\%$ погрешность ОМП составляет:

- для критериев «по началу» от 0,165 до 0,508 % при длине линии 40 км;

- для критериев «по концу» от 0,004 до 0,433 % при длине линии 40 км;

- для критериев «по началу и концу» от 0,002 до 0,455 % при длине линии 40 км;

- для критериев «по началу» от 0,17 до 0,52 % при длине линии 10 км;

- для критериев «по концу» от 0,005 до 1,09 % при длине линии 10 км (исключение со-

ставляют режимы двойных замыканий на землю, когда погрешность ОМП достигает 3,28 %);

- для критериев «по началу и концу» от 0,002 до 1,73 % при длине линии 10 км.

То есть погрешности ОМП практически прямо пропорциональны погрешностям измерений. Погрешности ОМП при погрешности измерений $\pm 0,5\%$ в 10 раз меньше, чем погрешности ОМП при погрешности измерений $\pm 5\%$.

Выводы. В отличие от проведенных ранее исследований предложен метод ОМП по эмпирическим критериям для фидеров 35 кВ, отходящих от трехобмоточного питающего трансформатора. Рассмотрены критерии ОМП, полученные для трех случаев измерения напряжений и токов: измерения проводятся в начале линии, измерения проводятся в конце линии и измерения проводятся в начале и в конце линии одновременно. Рассмотрены длины линии 40 км и 10 км. Погрешности измерений приняты $\pm 5\%$ и $\pm 0,5\%$. Показано, что погрешности ОМП практически прямо пропорциональны погрешностям измерений. При погрешности $\pm 0,5\%$ погрешности ОМП в 10 раз меньше погрешностей ОМП при погрешности измерений $\pm 5\%$.

При погрешности измерений $\pm 5\%$ погрешность ОМП не превышает 5 %. Исключение составляют режимы двухфазных коротких замыканий и двойных замыканий на землю при длине линии 10 км.

При погрешности измерений $\pm 0,5\%$ погрешность ОМП не превышает 1,8 %. Исключение составляют режимы двойных замыканий на землю при длине линии 10 км.

Таким образом, проведенные расчеты и анализ показали высокую эффективность предложенного метода ОМП при использовании эмпирических критериев в начале и в конце линии одновременно.

Библиографический список

1. Аржанников, Е.А. Методы и приборы определения мест повреждения на линиях электропередачи [Текст] / Е.А. Аржанников, А.М. Чухин. М.: Энергопресс, 1998. 87 с.

2. Шалыт, Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях [Текст] / Г.М. Шалыт. М.: Энергоиздат, 1982. 312 с.

3. Арцишевский, Я.Л. Определение мест повреждения линий электропередачи в сетях с изолированной нейтралью [Текст] / Я.Л. Арцишевский. М.: Высшая школа, 1989. 87 с.

4. Устройство определения места повреждения на воздушных линиях электропередачи

«Сириус-2-ОМП» [Текст]: руководство по эксплуатации. М., 2012. 64 с.

5. Попов, Н.М. Повышение надежности электроснабжения сельского хозяйства путем совершенствования релейных защит от аварийных режимов в сетях 0,38...35 кВ [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Н.М. Попов. СПб., 2006. 36 с.

6. Баранов, А.А. Совершенствование методов расчета и обнаружения несимметричных аварийных режимов электрических сетей класса 10 кВ [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.А. Баранов. М.: ВИЭСХ, 2012. 28 с.

7. Климов, Н.А. Совершенствование методов расчета и обнаружения аварийных несимметричных режимов электрических сетей 35 кВ [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.А. Климов. М.: МГАУ, 2013. 22 с.

8. Солдатов, В.А. Определение места повреждения в электрических сетях 35 кВ по эмпирическим критериям [Текст] / В.А. Солдатов, А. Агафонов // Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе: сборник статей 69-й международной научно-практической конференции в трех томах. Том 2. Караваево: Костромская ГСХА, 2018. С. 149–152.

9. Солдатов, В.А. Эмпирические критерии определения места повреждения в электрических сетях 10 кВ [Текст] / В.А. Солдатов, М.А. Кошкин // Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе: сборник статей 69-й международной научно-практической конференции в трех томах. Том 2. Караваево: Костромская ГСХА, 2018. С. 156–159.

10. Солдатов, В.А. Определение места повреждения в сети 35 кВ с трехобмоточным питающим трансформатором по эмпирическим критериям [Текст] / В.А. Солдатов, В.С. Захаров // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. № 4 (52). С. 135–140.

11. Солдатов, В.А. Расчет и анализ аварийных режимов работы сети 35 кВ и 10 кВ с трехобмоточным питающим трансформатором [Текст] / В.А. Солдатов, Н.А. Климов, В.С. Захаров, Ш.А. Кафланов // Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе: сборник статей 68-й международной научно-практической конференции в трех томах. Том 2. Караваево: Костромская ГСХА, 2017. С. 213–218.

12. Солдатов, В.А. Определение места повреждения в сети 35 кВ с трехобмоточным питающим трансформатором по критериям в конце линии [Текст] / В.А. Солдатов, В.С. Захаров // Актуальные вопросы развития науки и технологий: сборник статей международной научной конференции молодых ученых. Караваево: Костромская ГСХА, 2019. С. 343–346.

13. Мельников, Н.А. Матричный метод анализа электрических сетей [Текст] / Н.А. Мельников. М.: Энергия, 1972.

14. Лосев, С.Б. Вычисление электрических величин в несимметричных режимах электрических систем [Текст]: научное издание / С.Б. Лосев, А.Б. Чернин. М.: Энергоатомиздат, 1983. 528 с.

15. Гусейнов, А.М. Расчет в фазных координатах несимметричных установившихся режимов в сложных системах [Текст] / А.М. Гусейнов // Электричество. 1989. № 3.

16. Бернас, С. Математические модели элементов электроэнергетических систем [Текст] / С. Бернас, 3. Цек; пер. с польск. М.: Энергоиздат, 1982. 312 с.: ил.

17. Заварыгин, В.М. Численные методы [Текст] / В.М. Заварыгин. М.: Просвещение, 1991. 250 с.

Сведения об авторах

1. **Солдатов Валерий Александрович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий в электроэнергетике, ФГБОУ ВО Костромская ГСХА, 156530, Костромская область, Костромской район, пос. Караваево, Учебный городок, 34, e-mail: soldmel@rambler.ru.

2. **Захаров Вячеслав Сергеевич**, аспирант кафедры информационных технологий в электроэнергетике, ФГБОУ ВО Костромская ГСХА, 156530, Костромская область, Костромской район, пос. Караваево, Учебный городок, 34, e-mail: zaharovsw1995@mail.ru.

Для сетей 110 кВ и выше разработаны методы и приборы определения места повреждения. Однако они не эффективны для сетей 6–10–35 кВ из-за малых длин линий и отключающих мощностей и не позволяют определять режимы с замыканиями на землю и обрывами. Поэтому для сетей 6–10–35 кВ необходимо разрабатывать свои дистанционные методы и приборы ОМП. В данной работе предложен и исследован метод ОМП для сетей 35 кВ, отходящих от трехобмоточного питающего трансформатора. При этом рассмотрены три случая: при использовании напряжений и токов в начале линии; в конце линии; в начале и в конце линии. Для всех трех случаев найдены эмпирические критерии,

зависящие от токов и напряжений. В числитель формул критериев помещались напряжения и токи, увеличивающиеся при перемещении точки аварии, а в знаменатель – уменьшающиеся. Показано, что погрешности ОМП пропорциональны погрешностям измерений напряжений и токов. При погрешности измерений $\pm 5\%$ погрешности ОМП составляют от 0,02 до 5 %, за исключением режимов двухфазных коротких замыканий и режимов двойных замыканий на землю при малой длине линии 10 км. При погрешности измерений $\pm 0,5\%$ погрешности ОМП составляют от 0,002 до 1,8 %, за исключением режимов двойных замыканий на землю при малой длине линии 10 км. Таким образом,

проведенные расчеты и анализ показали высокую эффективность предложенного метода

ОМП при использовании критериев в начале и в конце линии одновременно.

V. Soldatov, V. Zakharov

DEVELOPMENT OF CRITERIA FOR DETERMINING THE FAULT LOCALIZATION IN A 35 KV NETWORK

Key words: *determination of the fault localization; criteria; electrical network; error; 35 kV feeder.*

Authors' personal details

1. **Valeriy Soldatov**, Doctor of Technical Sciences, the head of the department of information technologies in power industry, Kostroma State Agrarian Academy, 156530, Kostroma region, Kostroma area, settlement of Karavayevo, Educational town, 34, e-mail: soldmel@rambler.ru.

2. **Viacheslav Zakharov**, Post-graduate student the department of information technologies in power industry, Kostroma State Agrarian Academy, 156530, Kostroma region, Kostroma area, settlement of Karavayevo, Educational town, 34, e-mail: zaxarovsw1995@mail.ru.

The effective methods and instruments for determining the fault localization for networks of 110 kV and higher have been developed. However, they are not effective for 6–10–35 kV networks due to the short line lengths and disconnecting capacities and do not allow to determine the modes with earth faults and breaks. Therefore, for networks of 6–10–35 kV, it is necessary to develop their own remote methods and weapons of mass destruction. In this paper, the fault localization (FL) method for 35 kV networks extending from a three-winding supply transformer is proposed and investigated. In this case, three cases were considered: when using voltages and currents at the beginning of the line, at the end of the line, and at the beginning and at the end of the line. For all three cases, empirical criteria are found that depend on currents and voltages. In

the numerator of the formulas of the criteria, voltages and currents increasing during the movement of the accident point were placed, and in the denominator – decreasing. It is shown that, with errors, the FL are proportional to the errors in measuring voltages and currents. With a measurement error of $\pm 5\%$, the errors of the FL are from 0,02 to 5 %, except for double-phase short circuit modes and the double earth fault modes with a short line length of 10 km. With a measurement error of $\pm 0,5\%$, the errors of the FL are from 0,002 to 1,8 %, except for the double earth fault modes with a short line length of 10 km. Thus, the calculations and analysis showed the high efficiency of the proposed FL method when using criteria at the beginning and at the end of the line at the same time.

© Солдатов В.А., Захаров В.С.

УДК 62-837:631

DOI: 10.31563/1684-7628-2020-54-2-131-138

М.Ф. Туктаров, В.Г. Байназаров, Р.Ф. Махмутов, Р.Б. Яруллин

УПРАВЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Ключевые слова: *зерноочистительная машина; цилиндрический электропривод; тензорезисторный датчик; система управления; траектория движения.*

Введение. В настоящее время известны различные виды конструкций линейных электроприводов зерноочистительных машин (далее – ЛЭП ЗМ) с использованием цилиндрического линейного асинхронного двигателя (далее –

ЦЛАД) [1, 3]. Они обладают общим для всех преимуществом – упрощением приводного узла зерноочистительной машины за счет сообщения рабочему органу (решетному стану) прямолинейного движения непосредственно от электро-