

УДК 622.62

**О. Н. Синчук**, д-р техн. наук,  
**Э. С. Гузов**, канд. техн. наук,  
**В. А. Федотов, В. О. Черная**

### УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕГРЕВА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ШАХТНЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

**Аннотация.** Представлена новая, усовершенствованная система контроля температуры тяговых двигателей шахтных электровозов, которая может легко интегрироваться в бортовую автоматизированную систему контроля и диагностики шахтного электровоза. Она основана на контроле температуры обмотки возбуждения с помощью метода «амперметра-вольтметра» с формированием сигнала достижения максимально допустимой температуры двигателя.

**Ключевые слова:** контроль температуры, тяговый электродвигатель, датчик тока, датчик напряжения, аналоговый делитель, опорное напряжение

**O. Sinchuk**, ScD.,  
**E. Guzov**, PhD.,  
**V. Fedotov, V. Chernaja**

### INTEGRATED CONTROL SYSTEM FOR REGULATION AND PREVENTION OF OVERHEATING IN TRACTION ELECTRICAL ENGINES OF MINING LOCOMOTIVES

**Abstract.** Presented herein is a new optimized system of temperature control for traction engines in mining locomotives, which can be easily integrated into the main automatic control and diagnostics system onboard the locomotive. It is based on the control of the temperature of the excitation winding using the "ammeter-voltmeter" method forming a signal when the maximum permissible operating temperature of the engine is reached.

**Keywords:** temperature control, traction engines, current sensor, voltage sensor, analog divider, reference voltage

**О. Н. Синчук**, д-р техн. наук,  
**Е. С. Гузов**, канд. техн. наук,  
**В. О. Федотов, В. О. Черная**

### ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТА ЗАХИСТУ ВІД ПЕРЕГРІВУ ТЯГЛОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ШАХТНИХ ЕЛЕКТРОВІЗІВ

**Анотація.** Представлено нову, вдосконалену систему контролю температури тягових двигунів шахтних електровозів, яка може легко інтегруватися в бортову автоматизовану систему контролю та діагностики шахтного електровоза. Вона заснована на контролі температури обмотки збудження за допомогою методу «амперметра-вольтметра» з формуванням сигналу досягнення максимально допустимої температури двигуна.

**Ключові слова:** контроль температури, тягловий електродвигун, датчик струму, датчик напруги, аналоговий подільник, опорна напруга

**Введение.** В последние два десятилетия наблюдается неуклонный спад надежности работы тяговых электродвигателей (ТЭД) отечественных шахтных электровозов мощностью 13 – 45 кВт. Так, межремонтный интервал указанных ТЭД сократился с 18 – 25 месяцев в 1990 году до 2 – 4 месяцев в 2013 году [1]. Этот процесс является естественным, учитывая общую деградацию производственного потенциала страны из-за постоянных попыток «выжать» до конца старое оборудование, без его своевременной модернизации с учетом новинок научно-технического прогресса. Отдельные попытки поднять производственный уровень (разработка и внедрение новых электровозов с микропроцессорным управлением электроприводами (ЭП) ПЧ-АД, установка новейших систем переменного тока на шахтных технологических установках) не «делают погоду» на общем фоне.

© Синчук О.Н., Гузов Э.С., Федотов В.А.,  
Черная В.О., 2014

Немало на снижение сроков эксплуатации электромеханического оборудования, в том числе электровозного, в отечественных шахтах сказывается также падение культуры технического обслуживания и режимов их эксплуатации.

**Разработка системы контроля температуры.** Для дальнейшего повышения надежности работы ТЭД необходим текущий контроль – диагностика температурных режимов функционирования любых типов тяговых электрических двигателей в тяговых электромеханических комплексах шахтных электровозов [1, 3].

Следует констатировать, что проблема теплового контроля в существующих видах шахтных электровозов в отличие от магистральных видов не решена. Между тем, как свидетельствует всё тот же опыт эксплуатации магистральных электровозов, внедрение только системы непрерывного мониторинга температурных режимов функционирования ТЭД уменьшает отказы последних на 30 – 35 %, выход из строя коллекторов в 2,6 – 3,3 раза, а количество

круговых огней в них в 3,1 – 3,7 раза при общем уменьшении износа коллекторов в 2,8 – 3,4 раза. В противовес же вышеизложенному, в свою очередь, эксплуатация ТЭД без систем контроля тепловых режимов увеличивает количество их отказов в 1,5 – 3,5 раза [4].

Как показывает анализ литературных источников, реально возможными являются следующие способы контроля температуры ТЭД: заложение в двигатель датчиков температуры, применение тепловых реле, косвенная оценка по сопротивлению обмоток двигателей или по расчетным потерям в двигателе.

#### Контроль с помощью термосопротивлений.

Наиболее очевидными для эксплуатационного контроля температуры электрических машин являются полупроводниковые термосопротивления, достоинства которых общеизвестны:

- высокий температурный коэффициент сопротивления, на порядок выше, чем у металлов;
- небольшие размеры и различная форма исполнения – в виде бусинок, пластинок, шайб, стержней, что упрощает закладку в обмотки и другие элементы двигателей;
- прочность и стойкость к механическим воздействиям;
- малая величина тепловой инерции.

К недостаткам термосопротивлений можно отнести значительный разброс характеристик, что не позволяет их использовать без индивидуальной градуировки. Однако главным недостатком применения температурных датчиков является необходимость их закладки в обмотки двигателя, что требует разборки двигателя. Кроме того, при контроле температуры двигателя с помощью температурных датчиков необходимо выведение из двигателя дополнительных проводов, что в условиях сильной вибрации ТЭД может приводить к их повреждению.

**Контроль с помощью тепловых реле.** Они нашли широкое применение в промышленности для защиты двигателей небольшой мощности от тепловых перегрузок. По нагревательному элементу реле и по обмоткам двигателя протекает один и тот же ток и количество тепла, которое выделяется в нагревательном элементе и в обмотках двигателя, таким образом, по нагреву реле косвенно оценивается нагрев двигателя. Однако тепловые реле при превышении токов продолжительного режима срабатывают слишком быстро и непригодны для защиты ТЭД от перегрева.

**Контроль по расчетным потерям в двигателе.** По расчетным потерям энергии в ТЭД за расчетный период может быть дана косвенная оценка его нагревания [5]. Как известно, потери энергии пропорциональны  $I^2 t$ .

В данном случае эквивалентный по нагреву ток:

$$I_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2 dt},$$

где  $T$  – период работы двигателя.

При практических расчетах период работы двигателя разбивают на интервалы, в течение которых

ток двигателя можно считать неизменными. В условиях железорудных шахт цикл движения состоит:

$$T \leq t_{\text{нор}} + t_{\text{нозр}} + t_{\text{зр}} + t_{\text{раз}} + t_{\text{ман}} + t_{\text{прос}}, \quad (1)$$

где  $t$  – время соответственно движения порожнего состава, погрузки, движения груженого состава, разгрузки, маневров и простоев.

С учетом этого эквивалентный ток можно представить как:

$$I_{\text{экв}} = \alpha \sqrt{\frac{1}{T} (I_{\text{нор}}^2 t_{\text{нор}} + I_{\text{нозр}}^2 t_{\text{нозр}} + I_{\text{зр}}^2 t_{\text{зр}} + I_{\text{раз}}^2 t_{\text{раз}} + I_{\text{ман}}^2 t_{\text{ман}})},$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий ухудшение охлаждения двигателя во время работы.

Если электровоз оборудован микропроцессорной системой управления, что уже применяется в новых разработанных образцах электровозов, может быть реализовано непрерывное вычисление функции  $I^2 t$ , ее интегрирование и определение эквивалентного тока

$$I_{\text{экв}} = \alpha \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2 dt}. \quad (2)$$

Достоинством данного метода является отсутствие каких-либо дополнительных элементов, однако недостатком является более низкая точность контроля нагревания обмоток двигателя по сравнению с методами, использующими непосредственный контроль температуры.

**Контроль по сопротивлению обмоток.** Еще одним способом определения температуры обмотки является способ по изменению сопротивления обмотки в зависимости от ее температуры. Температура горячей обмотки определяется по формуле:

$$\tau_z = \frac{R_z - R_x}{R_x} (k + \tau_x) + \tau_x, \quad \text{°C}, \quad (3)$$

где  $R_z$ ,  $R_x$  – сопротивления обмоток, измеренные соответственно в горячем и холодном состоянии, Ом;  $\tau_x$  – известная температура обмотки в холодном состоянии, при котором измерялось сопротивление  $R_x$ ;  $k$  – коэффициент, равный для меди 235, для алюминия 245.

Контроль температуры по сопротивлению якорной обмотки ТЭД встречает большие трудности, связанные со щеточными контактами. Сопротивление щеточных контактов, которое включено последовательно с обмоткой якоря, является нестабильным и может изменяться в десятки раз в зависимости от марки щеток, их приработки, состояния поверхности и температуры коллектора, скорости вращения. К тому же щетки перекрывают несколько коллекторных пластин, шунтируя секции якорной обмотки. В этой связи достаточно точное определение температуры якорной обмотки по ее сопротивлению невозможно.

Однако обмотка возбуждения ТЭД доступна для непосредственных измерений без скользящих контактов. Она включена последовательно с обмоткой якоря, обтекается одним с якорем током, поэтому их на-

грев и охлаждение коррелируют между собой. Как установлено в результате проведения авторами ряда экспериментов, температура якорной обмотки на 20°C превышает температуру обмотки возбуждения. В связи с этим логичен вывод, что для контроля температурных режимов обмотки якоря возможно использование косвенного метода – путем определения



Рис. 1. Функциональная схема защиты тягового двигателя шахтного электровоза от перегрева

температуры обмотки возбуждения по ее сопротивлению. С этой целью предлагается следующая структура защитного устройства (рис. 1).

Устройство включает с себя: датчик напряжения обмотки возбуждения (2) и датчик тока обмотки возбуждения (3), которые подключены к электродвигателю (1), выходы датчиков соединены с аналоговым интегральным умножителем/делителем (4), выход интегрального умножителя/делителя и блока задания опорного напряжения (5) соединены с аналоговым компаратором (6), выход аналогового компаратора соединен с входом блока индикации (7).

Устройство работает следующим образом.

Аналоговые сигналы, пропорциональные напряжению на обмотке возбуждения и току в обмотке возбуждения тягового электрического двигателя (1) с датчика напряжения (2) и датчика тока (3) подаются на аналоговый интегральный умножитель/делитель (4), напряжение, на выходе которого пропорционально температуре обмотки возбуждения. В случае превышения напряжением с выхода умножителя/делителя (4) уровня напряжения, который подается с блока задания опорного напряжения (5) сигнал с аналогового компаратора (6) передается на устройство индикации (7) и в схему управления электрическими двигателями. Контрольные уровни температур электрического двигателя могут задаваться уровнями опорного напряжения на аналоговом компараторе.

На рис. 2 представлена схема внешних соединений защитного устройства. В схеме напряжение  $U$  «снимается» с обмотки возбуждения ОВ через цепь, состоящую из R1-R3 и C, ограничивающих импульсы напряжения на входе защитного устройстве при внешних переключениях в силовой цепи. Ток, протекающий через ОВ, определяется с помощью шунта RS, и сигнал тока поступает на устройство защиты. Настройка защиты на требуемое сопротивление и со-

ответствующую температуру производится подстроечным резистором R3. Блок защитного устройства содержит внутри себя блоки 4, 5, 6 и 7 с функциональной схемой рис. 1.

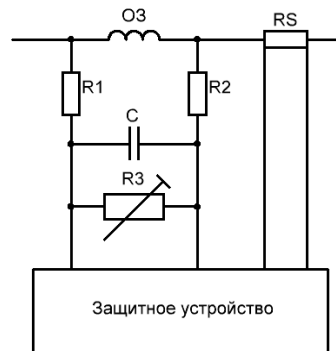


Рис. 2. Схема внешних соединений защитного устройства с тяговым двигателем

### Выводы

1. Для повышения конструкционной надёжности и долговечности тяговых электрических двигателей шахтных электровозов необходимо внедрение для этих двигателей в составе тяговых электромеханических комплексов системы защит от:

- недопустимых перегрузок;
- коротких замыканий; коммутационных перенапряжений;
- перегрева обмоток.

2. Предложенный способ бесконтактного контроля, мониторинга и защиты, тяговых электродвигателей от недопустимого превышения уровня температуры в их элементах не требует установки соответствующих датчиков температуры, поскольку сама обмотка возбуждения является датчиком, что делает защиту достаточно простой, надёжной, а это особенно актуально для тяговых комплексов шахтных электровозов.

### Список использованной литературы

1. Черная В. О. К вопросу анализа повреждений тяговых двигателей шахтных электровозов [Текст] / В. О. Черная // Молодь : наука та інновації. Перша Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих вчених. – Дніпропетровськ : ВНЗ «НГУ». – 2013. – С. 421 – 422.
2. Волотковскій С. А. Рудничная электровозная тяга. – М. : Недра, 1981. – 389 с.
3. Оат Г. П. Исследование нагрузок тяговых двигателей электровозов горных шахт : автореф. дис. раб. на соискание уч. степ. канд. техн. наук / Георгий Петрович Оат // Ленинградский горный институт им. Г. В. Плеханова. – Ленинград, 1962. – 17 с.
4. Носков В. И. Контроль и диагностика моторвагонных поездов с использованием нейронных сетей. / В. И. Носков, М. В. Липчанский, В. С. Блиндаж // Наук, техн. зб. «Комунальне господарство міст». – Харьков : ХНАМГ. – 2011. – Вып. 101. – С. 278 – 283.
5. Жеребкин Б. В. Система векторного управления электроприводом рудничных электровозов с использованием аппарата нечеткой логики : автореф.

дис. раб. на соискание уч. степ. канд. техн. наук : спец. 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» / Богдан Васильевич Жеребкин // Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова. – Санкт-Петербург, 2005. – 19 с.

6. Бутт Ю. Ф. Шахтный подземный транспорт : справочное издание : в 2-х томах / Ю. Ф. Бутт, В. В. Грядущий, В. Л. Дебелый и др.; под общ. ред. Б. А. Грядущего. – Т.1. – Донецк : «ВИК», 2009. – 481 с.

7. Бунько В. А. Повышение безопасности рудничной электровозной откатки / В. А. Бунько, С. А. Волотковскій, Г. Г. Пивняк. – М. : Недра, 1964. – 200 с.

8. Синчук О. Н. Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровозов [Текст] / О. Н. Синчук, И. О. Синчук, Н. Н. Юрченко // Научное издание.–К. : ІЕДНАНУ, 2006. – 252 с.

9. Богаенко И. Н. Контроль температуры электрических машин / И. Н. Богаенко. – К. : Техника, 1975. – 176 с.

10. Хоровиц П. Искусство схемотехники: пер. с англ. – 5-е изд., перераб. / П. Хоровиц, У. Хилл. – М. : Мир, 1998. – 704 с., ил.

Получено 04.07.2014

#### References

1. Chornaya V.O. K voprosu analiza povrezhdenij t'jagovyh dvigatelej shahtnyh jelektrovozov [To the Question of Analysis of Damages of Hauling Engines of Mine Electric Locomotives], (2013), *Molod: Nauka ta Innovatsiyi. i VseukraYinska Naukovo-TehnIchna KonferentsIya StudentIv, AspIrantIv i Molodih Uchenih*. Dnepropetrovsk, Ukraine, *SIHE "NSU"*, pp. 421 – 422 (In Russian).

2. Volotkovskiy S.A. Rudnichnaya elektrovoznaya tyaga [Mine Electric Locomotive Traction], (1981), *Nedra Publ*, Moscow, Russian Federation, 389 p. (In Russian)

3. Oat G.P. Issledovanie zagruzok t'jagovyh dvigatelej jelektrovozov gornah shaht [Research of Loads of Hauling Engines of Electric Locomotives Furnaces of Mines], (1962), *Avtoref. Dis. Rab. na Soiskanie Uch. Step. Kand. Tehn. Nauk*, Krivoy Rog, Ukraine, – 28 p. (In Russian).

4. Noskov V.I., Lipchanskiy M.V., and Blindyuk V.S. Kontrol' i diagnostika motorvagonnyh poezdov s ispol'zovaniem nejronnyh setej [Control and Diagnostics of Motorvagonnykh Trains with the use of Neuron Networks], (2011), *Komunalne Gospodarstvo Mist. Naukovo-Tehnichniy Zbirnik, Har'kov: HNAMEG*, Vol. 101, pp. 278 – 283 (In Russian).

5. Zherebkin B.V. Sistema vektornogo upravlenija jelektroprivodom rudnichnyh jelektrovozov s ispol'zovaniem apparata nechetkoj logiki [The System is the Vector of the Electric Drive of the Mine Electric Locomotives with the use of Fuzzy Logic], (2005), *Avtoref. Dis. Rab. na Soiskanie Uch. Step. Kand. Tehn. Nauk*, St.Petersburg, Russian Federation, 19 p. (In Russian).

6. Butt Ju.F., Grjadushhij V.B., Debelyj V.L., Koval' A.N., Furman A.L., Shhuka V.M., and Jachenko V.A. Shahtnyj podzemnyj transport: spravochnoe

izdanie. [Mine Underground Transport: Reference Book], (2009), *VIK Publ.*, Donetsk, Ukraine, 481 с. (In Russian).

7. Bunko V.A., Volotkovskiy S.A., and Pivnyak G.G. Povyshenie bezopasnosti rudnichnoj jelektrovoznoj otkatki [Increase of Safety of Mine Electric Locomotive Traction], (1964), *Nedra Publ*, Moscow, Russian Federation, 200 p. (In Russian).

8. Sinchuk O.N., Sinchuk I.O., and Yurchenko N.N. Kombinatorika preobrazovateley napryazheniya sovremennyh tyagovyh elektroprivodov rudnichnyh jelektrovozov [Combinatorics of Transformers of Tension of Modern Hauling Electromechanics of Mine Electric Locomotives], (2006), *IEDNANU*, Kiev, Ukraine, 252 p. (In Russian).

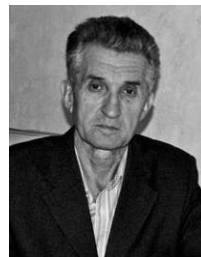
9. Bogaenko I. N. Kontrol' temperatury jelektricheskikh mashin [Control of Temperature of Electric Machines], (1975), *Tehnika Publ.*, Kiev, Ukraine, 176 p. (In Russian).

10. Horovic P., and Hill U. Iskusstvo shemotekhniki [The art of Electronics], (1998), *Mir Publ.*, Moscow, Russian Federation (In Russian).



Синчук

Олег Николаевич, д-р техн. наук, проф., зав. каф. автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте ГВУЗ «Криворожский нац. ун-т». Украина, г. Кривой Рог ул. XXII партсъезда, 11. Тел. (056) 409-17-30. E-mail: speet@ukr.net



Гузов

Эдуард Семенович, канд. техн. наук, доц. каф. автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте ГВУЗ «Криворожский нац. ун-т». Украина, г. Кривой Рог ул. XXII партсъезда, 11. Тел. (056) 409-17-30. E-mail: speet@ukr.net



Федотов

Владислав Александрович, ст. преподаватель каф. автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте ГВУЗ «Криворожский нац. ун-т». Украина, г. Кривой Рог ул. XXII партсъезда, 11. Тел. (056) 409-17-30. E-mail: speet@ukr.net



Черная

Виктория Олеговна, ассистент каф. систем электропотребления и энергетического менеджмента Кременчугского нац. ун-та имени М. Остроградского Украина, г. Кременчуг, ул. Первомайская 20, Тел. (05366) 3-00-50. E-mail: seem@kdu.edu.ua