

УДК 629.423.315

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ РУДНИЧНЫХ ЭЛЕКТРОВЗОВ ПОСРЕДСТВОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ТЕОРИИ СЛУЧАЙНЫХ ФУНКЦИЙ

В. О. ЧернаяКременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: chornajav@gmail.com**А. В. Омельченко**Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет»
ул. XXII партсъезда, 11, г. Кривой Рог, 50027, Украина. E-mail: omelchenko84@ukr.net

Приведен анализ аварийности составляющих узлов электромеханических комплексов шахтных контактных электровозов. Представлены результаты промышленных испытаний по изучению тепловых режимов тяговых двигателей в процессе их функционирования в комплексе рудничной откатки. Рассмотрены вопросы применения способов определения температуры нагрева тяговых двигателей посредством использования значений среднеквадратичного тока двигателя. Установлена низкая точность результатов расчетов температуры двигателя, работающего в переходных режимах, с использованием значений среднеквадратичного тока. Представлены результаты исследований тепловых режимов тяговых электрических двигателей, проведенные с использованием теории случайных функций. По результатам расчетов построены параметры стационарной случайной функции температуры. На основании расчетов основных элементов корреляционной матрицы предложено выражение для определения превышения температуры тягового двигателя за время рейса электровоза. Доказана возможность применения теории стационарной функции для исследований тепловых процессов в тяговых электрических двигателях рудничных контактных электровозов.

Ключевые слова: тяговый электрический двигатель, электровоз, рейс, температура, корреляция.

ОЦІНКА ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ РУДНИЧНИХ ЕЛЕКТРОВЗІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ТЕОРІЇ ВИПАДКОВИХ ФУНКЦІЙ

В. О. ЧернаКременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: chornajav@gmail.com**О. В. Омельченко**Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»
вул. XXII партз'їзду, 11, 50027, м. Кривий Ріг, Україна. E-mail: omelchenko84@ukr.net

Наведено аналіз аварійності складових вузлів електромеханічних комплексів шахтних контактних електровозів. Надано результати промислових випробувань з вивчення теплових режимів тягових двигунів у процесі їх функціонування в комплексі рудничної відкатки. Розглянуто питання застосування способів визначення температури нагрівання тягових двигунів за допомогою використання значень середньоквадратичного струму двигуна. Встановлена низька точність результатів розрахунків температури двигуна, що працює в перехідних режимах, з використанням значень середньоквадратичного струму. Надано результати досліджень теплових режимів тягових електричних двигунів, проведені з використанням теорії випадкових функцій. За результатами розрахунків побудовано параметри стаціонарної випадкової функції температури. На підставі розрахунків основних елементів кореляційної матриці запропоновано вираз для визначення перевищення температури тягового двигуна за час рейсу електровоза. Доведено можливість застосування теорії стаціонарної функції для досліджень теплових процесів у тягових електричних двигунах рудничних контактних електровозів.

Ключові слова: тяговий електричний двигун, електровоз, рейс, температура, кореляція.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Тяговые электрические двигатели (ТЭД) рудничного электровозного транспорта по номенклатуре своего типажа и находящемуся в эксплуатации количеству занимают доминирующее место в иерархической структуре электрических двигателей [1, 2].

Вместе с тем, как известно, ТЭД имеют свои основополагающие особенности, которые отличают и делают невозможным взаимозаменяемость их с общепромышленными аналогами [1, 3–5].

В конечном итоге эти отличия, как следствие, прослеживаются в конструкциях ТЭД [1]. Вместе с тем следует констатировать, что и сами ТЭД, даже соизмеримые между собой по электрическим мощ-

ностям, отличаются друг от друга прежде всего устройствами искусственной вентиляции, которая является необходимым конструктивным элементом ТЭД и необходима во всех их видах и типах для исключения возможности перегрева элементов конструкции тяговых двигателей.

Разность ТЭД определяется и режимами их функционирования в составе тяговых электромеханических комплексов (ТЭМК) тех или иных электрифицированных видов транспорта. К примеру, установленные режимы работы в объемах 80–90 % характерны для ТЭД магистральных электровозов, троллейбусов и лишь около 40 % – ТЭД промышленных и рудничных (шахтных) видов электровозов.

Неустановившиеся режимы функционирования, являясь комплексной проблемой, особенно проявляются в температурных показателях ТЭД, что, приводя к перегреву их элементов, в конечном итоге способствует преждевременному выходу из строя двигателей. ТЭД – это составляющие электромеханического комплекса рудничной откатки, призванные обеспечивать надежность всего электровоза как движущейся единицы.

Как показывает анализ технико-экономических показателей предприятий горнорудной промышленности Украины [6], материальные затраты на ремонт ТЭД постоянного тока за последнее десятилетие по шахтам г. Кривого Рога увеличились почти в четыре раза и составляют более 90 % общих затрат на ремонт тягового электрического оборудования (рис. 1). При этом затраты на обслуживание механического оборудования электровозного транспорта по сравнению с расходами на ремонт ТЭД незначительны, поэтому при анализе общепроизводственных затрат они не учитываются.

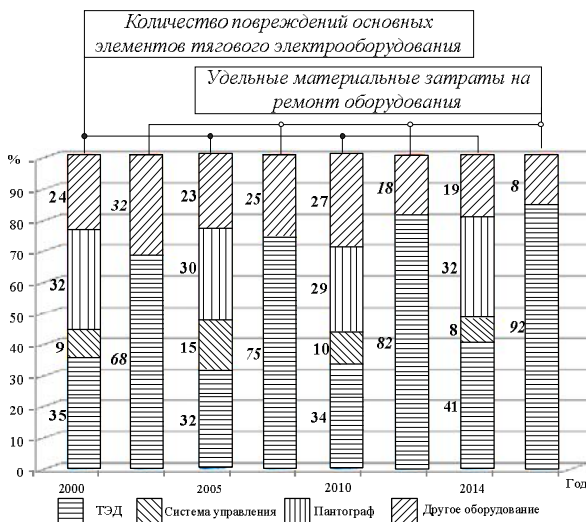


Рисунок 1 – Анализ повреждений составляющих элементов эксплуатируемых тяговых электротехнических комплексов рудничных контактных электровозов

В связи с этим актуальной задачей является изучение режимов функционирования ТЭД и тепловых процессов в них с целью разработки способов улучшения показателей эффективности и надежности их работы в комплексе тяговых электротехнических систем.

Целью данных исследований является изучение тепловых процессов, протекающих в ТЭД рудничных электровозов в процессе их функционирования в условиях отечественных железорудных шахт с использованием теории случайных функций.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. В ходе исследований по изучению причин повреждений ТЭД постоянного тока, эксплуатируемых на ТЭМК контактных электровозов в отечественных железорудных шахтах, было установлено, что надежность или сроки межремонтной эксплуатации ТЭД определяется в основном режимами функционирования последних [7–9].

Промышленные и лабораторные исследования процесса нагревания показали, что в тепловом отношении ТЭД представляет собой весьма сложное тело, температурное поле которого даже при всех упрощенных предположениях классической теории нагревания определяется сложно и не всегда обеспечивает совпадение с расчетным перегревом [10].

Наиболее труден случай теплового процесса, когда время работы ТЭД не настолько велико, чтобы температуру в конце процесса можно было считать близкой к установившейся, и в то же время не настолько мало, чтобы температуру можно было считать изменяющейся по прямолинейному закону (из-за кратковременности теплового процесса можно считать, что теплообмена не происходит). Такой режим работы характерен для работы ТЭД рудничных электровозов.

Общий вид диаграммы нагрузки тяговых двигателей по операциям рейса, полученной в результате экспериментальных замеров в шахтных условиях, показан на рис. 2. Диаграмма соответствует движению груженого состава весом $Q_n=85$ т и порожнего весом 35 т при относительной длительности действия нагрузки $\tau=0,5$ и времени рейса $t_p=41$ мин. Подобная форма графика нагрузки ТЭД связана со спецификой ведения горных работ в условиях железорудных шахт.



Рисунок 2 – Диаграмма нагрузки тяговых двигателей по циклам рейса

На рис. 3 приведенные графики нагрева ТЭД, полученные экспериментальным путем (кривая 1) и рассчитанные по уравнениям среднеквадратичного тока (кривая 2) при работе электровоза с относительной продолжительностью действия нагрузки, равной 0,5. По расчетным данным видно, что превышение температуры ТЭД за время рейса составило 7,2 °С, а к концу рейса температура снизилась ниже начальной. По данным экспериментальных замеров, превышение температуры ТЭД составило 5,8 °С (кривая 1).

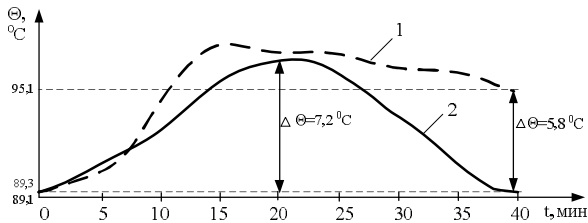


Рисунок 3 – Сравнение действительного нагрева с эквивалентным, полученным по уравнениям среднеквадратичного тока: 1 – экспериментальные значения температуры нагрева ТЭД; 2 – рассчитанная эквивалентная температура нагрева ТЭД

Таким образом, среднеквадратичный ток при неустановившихся режимах работы тяговых двигателей в случайном чередовании периодов нагрузки и пауз не отражает действительное изменение температуры нагрева двигателя в течение рейса или смены.

Поскольку работа электровоза представляет повторяющиеся друг за другом рейсы, целесообразно установить величину перегрева двигателя за время одного рейса. Этому также способствует то, что, зная закон распределения тока в течение рейса и относительную продолжительность действия нагрузки, можно использовать параметры распределения для определения нагрева двигателя.

Изучение тепловых процессов ТЭД производилось непосредственно в шахтных условиях. Для этого устраивались опытные поездки с измерительным вагоном, оборудованным необходимой аппаратурой контроля тягового режима и теплового контроля.

Особое внимание при подготовке ТЭД к замерам уделялось месту закладки термопар, для чего привлекались данные практики, собранные в электроцехе рудоремонтного завода ПАО «Криворожжелезрудком», характеризующие места наиболее частого повреждения изоляционных свойств обмоток. К ним относятся: обмотка дополнительных полюсов, расположенная со стороны, противоположной приливу моторно-осевого подшипника двигателя, обмотка главных полюсов, расположенная выше указанной дополнительной обмотки.

Как установлено в результате исследований, наиболее частые повреждения обмотки якоря происходят на расстоянии 2/3 активной длины секции, считая со стороны коллектора, что говорит о более высокой температуре в этой зоне.

Следует также отметить, что при исследовании распределения температуры вдоль секции якоря,

проводимой доц. Оатом Г.П., также было установлено повышение температуры при переходе от коллектора к лобовым частям [12].

Для съема сигнала с температурных датчиков, смонтированных в якорь электродвигателя, разработан и изготовлен токосъемник, при конструировании которого учтены параметры окружающей среды и условия, в которых он должен работать: запыленность и повышенная влажность воздуха, вибрация и тряска во время движения электровоза, возможная несоосность валов якоря и токосъемника, потери контакта на кольцах и др.

На рис. 4 приведены кривые возможных реализаций двух случайных функций превышения температуры для одной и той же относительной загрузки J (отношение генеральной средней нагрузки к длительному току двигателя), но различной относительной продолжительности действия нагрузки, соответственно равной 0,55 и 0,3, полученные в результате экспериментальных рейсов с использованием измерительной аппаратуры в условиях шахты «Родина» (г. Кривой Рог).

Из графиков видно, что колебания температуры за время рейса, смены имеют нерегулярный случайный характер, как и сама нагрузка, являющаяся первоисточником этих колебаний. Таким образом, непрерывно изменяющаяся температура является такой случайной величиной, которая в каждом данном опыте представляет собой определенную функцию времени. Следовательно, ее можно рассматривать как случайную функцию (или случайный процесс), у которой:

а) для каждого значения аргумента $t=t_0$ возможное значение температуры $\Theta(t)$ представляет случайную величину;

б) любой конкретный вид графика температуры, полученный из опыта за какой-то промежуток времени, представляет «реализацию» случайной функции $\Theta(t)$.

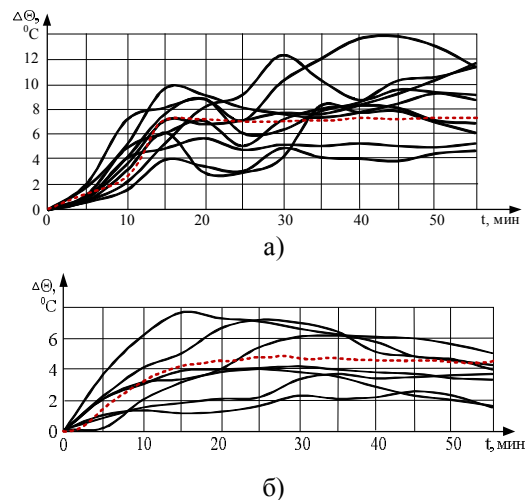


Рисунок 4 – Экспериментальные функции превышения температуры $\Delta\Theta(t)$ якоря тяговых двигателей ДТН-45 за время рейса электровоза К14: а) $J=1,7$ для $\tau=0,55$; б) $J=1,7$ для $\tau=0,3$

Из представленных графиков видно, что внутренняя структура этих двух случайных функций

$\Delta\Theta(t)$ различна. В первом случае зависимость между значениями случайной функции превышения температуры $\Delta\Theta(t)$ носит колебательный характер, во втором случае характерно плавное, постепенное изменение. Учсть связь между значениями случайной функции $\Delta\Theta(t)$ при различных значениях аргумента или, иными словами, степень изменчивости случайной функции $\Delta\Theta(t)$ при изменении аргумента возможно с применением корреляционной теории случайных функций.

Если для некоторой реализации случайной функции известно значение превышения температуры $\Delta\Theta_0(t)$, фактически имевшее место для некоторого $t=t_0$, то этим не определено ее значение $\Theta_1(t)$ для некоторого другого, хотя бы и очень близкого момента времени $t=t_1$, но определены вероятности различных возможных значений $\Delta\Theta_1(t)$ [13]. Именно эта корреляционная, т.е. вероятностная связь между значениями температур, возможных в два любых момента времени t_0 и $t_1 \neq t_0$, и представляет физическую сущность того факта, что совокупность случайных значений $\Delta\Theta(t_0), \Delta\Theta(t_1) \dots$ для различных $t=t_0, t=t_1$ представляет собой единый, хотя и случайный, процесс.

Существенно важным является то, что из-за инерции тепловых процессов изменение температуры во времени происходит приблизительно однородно и имеет вид непрерывных случайных колебаний вокруг некоторого среднего значения, причем ни средняя амплитуда, ни характер этих колебаний не обнаруживают существенных изменений с течением времени. Следовательно, тепловые процессы тяговых двигателей могут быть отнесены к наиболее изученному классу так называемых стационарных случайных функций.

Математически это означает, что для любых двух моментов времени t, t_1 и при любом сдвиге во времени u значения корреляционной функции $K_\Theta(t, t+u)$ и $K_\Theta(t_1, t_1+u)$ должны быть одинаковы. Т.е. стационарность означает независимость вероятностных характеристик при любом сдвиге во времени.

Из определения стационарной функции следует, что изменение температуры во времени характеризуется двумя параметрами:

1) величиной средней температуры Θ_{cp} (математическим ожиданием);

2) корреляционной функцией $K_\Theta(t, t+u) = K_\Theta(u)$.

Реализации случайных функций превышения температуры за время рейса, полученные при промышленных экспериментах в условиях железорудных шахт г. Кривого Рога, приведены на рис. 5.

Чтобы определить вероятностные характеристики стационарной случайной функции превышения температуры $\Theta(t)$, ее реализации представлены для различных значений относительной нагрузки I/I_m при определенной относительной длительности ее действия τ . Выражение характеристик через относительные значения нагрузки дает возможность расширить полученные закономерности на другие типы тяговых двигателей, т.к. в период эксперимента было установлено, а в [14] указано, что технологии

производства новой машины с точки зрения ее влияния на характер распределения температур существенно не изменяется по сравнению с технологией предшествующей машины.

Так как температура меняется сравнительно плавно, выбираем сечения графиков через каждые 5 мин. Тогда случайная функция $\Delta\Theta(t)$ будет сведена к системе случайных величин, соответствующих числу опорных значений аргумента 10...55. Значение случайной функции $\Delta\Theta(t)$ в этих сечениях заносится в таблицу, каждая строчка которой соответствует числу опорных значений аргумента. Далее находим подходящее значение математического ожидания от времени [13]:

$$m_{\Delta\Theta}(t_k) = \frac{\sum \Delta\Theta(t_k)}{n}, \quad (1)$$

где n – число реализаций случайной функции температуры.

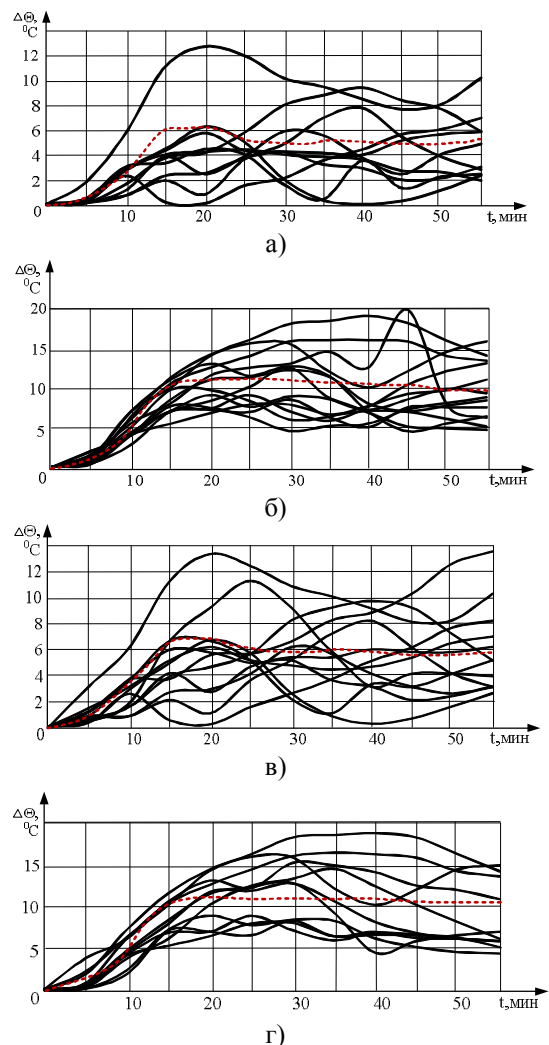


Рисунок 5 – Семейства экспериментальных кривых превышения температур тяговых двигателей ДТН-45 при движении электровозов типа К14 по подземным горизонтам: а) ш. «Родина» 1240 м, при $J=1,63, \tau=0,45$; б) ш. «Родина» 1315 м, при $J=1,97, \tau=0,45$; в) ш. им. Ленина 1275 м, $J=1,67, \tau=0,55$; г) ш. им. Ленина 1350 м, при $J=1,9, \tau=0,55$

Чтобы установить степень зависимости между сечениями случайной функции, находим корреляционную функцию $K_{\Theta}(u)$. Последняя представляет собой для каждого данного u среднее значение из всех возможных значений, т.е. математическое ожидание произведения $\Delta\Theta(t)\Delta\Theta(t+u)$.

Следует учесть, что в силу свойства стационарности это значение не зависит от t , а только от u , т.е. действительно определяет вполне определенную функцию от u , характеризующую заложенные в свойствах процесса корреляционные связи между возможными значениями $\Delta\Theta(t)$ при любом фиксированном сдвиге u во времени между ними.

Корреляционная функция дает достаточно содержательную характеристику стационарного процесса. Очевидно, что при $t+u=t$, $u=0$:

$$K_{\Theta}(t,t) = K_{\Theta}(0) = D_{\Theta}(t). \quad (2)$$

Корреляционная функция представляет дисперсию стационарного процесса, отложенную на оси ординат. С увеличением u связь между $\Delta\Theta(t)$ и $\Delta\Theta(t+u)$ все более ослабевает, при $u \rightarrow \infty$ эти величины становятся независимыми. Подходящие значения элементов корреляционной матрицы: дисперсий и корреляционных моментов – находятся по выражениям [13]:

$$D_{\Theta}(t_k) = \left[m_{\Delta\Theta}(t_k) \right]^2 - \frac{\sum_{i=1}^n [\Delta\Theta_i(t_k)]^2}{n} \cdot \frac{n}{n-1}; \quad (3)$$

$$K_{\Theta}(t_k t_l) = \frac{n}{n-1} \times \left[\frac{\sum_{i=1}^n [\Delta\Theta_i(t_k)\Delta\Theta_i(t_l)]}{n} - [m_{\Delta\Theta}(t_k)m_{\Delta\Theta}(t_l)] \right]. \quad (4)$$

Анализируя результаты расчетов, можно сделать вывод, что функция температуры $\Delta\Theta(t)$ не является стационарной, т.к. и математическое ожидание, и дисперсия непостоянны, что противоречит обязательным условиям, которым должна удовлетворять стационарная случайная функция.

Однако, учитывая ограниченное количество реализаций и наличие большого элемента случайности в полученных результатах, а также отсутствие их характерных закономерностей, подобные отступления от стационарности можно считать несущественными. Таким образом, рассматриваемую случайную функцию температуры $\Delta\Theta(t)$ можно заменить стационарной.

На практике вместо корреляционной функции $K_{\Theta}(u)$ часто используют нормированную корреляционную функцию

$$\rho_{\Theta}(u) = \frac{K_{\Theta}(u)}{D_{\Theta}}, \quad (5)$$

где D_{Θ} – дисперсия.

Функция $\rho_{\Theta}(u)$ есть не что иное как коэффициент корреляции между сечениями случайной функции,

разделенными интервалом u по времени. Очевидно, что $\rho_{\Theta}(u)=1$. На основании полученных аналитических зависимостей построены параметры стационарной случайной функции температуры, представленные на рис. 6.

Учитывая, что рост температуры запаздывает от начала действия нагрузки, начало координат нормированной корреляционной функции переносим на сдвиг во времени, соответствующий инерции теплового процесса или стационарности случайной функции.

Таким образом, располагая значениями средней температуры и нормированной корреляционной функции, можно определить превышение температуры за время рейса по выражению

$$\Delta\Theta_{\text{рейс}}(u) = \Delta\Theta_{cp} + \rho_{\Theta}(u)\sqrt{D_{\Theta}}, \quad (6)$$

где $\Delta\Theta_{\text{рейс}}$ – превышение температуры за время рейса; $\Delta\Theta_{cp}$ – величина средней температуры (определяется из рис. 6,а); $\rho_{\Theta}(u)$ – нормированная корреляционная функция, значения которой находятся из рис. 6,б.

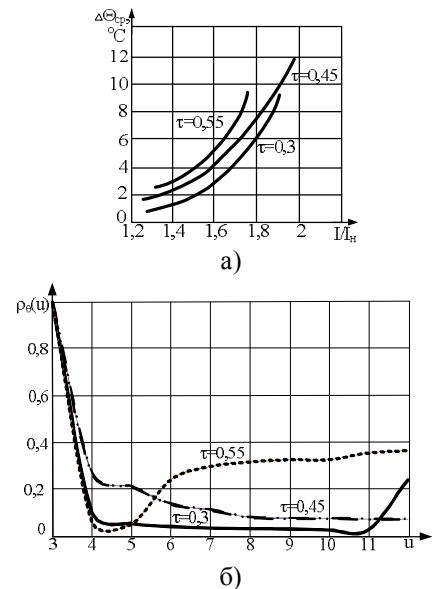


Рисунок 6 – Параметры стационарной случайной функции температуры: а) среднее превышение температуры; б) нормированная корреляционная функция

Для фиксированных значений относительной продолжительности работы ТЭД под нагрузкой на основании предложенного выражения с использованием параметров стационарной случайной функции температуры получены кривые превышения температуры в течение рейса, представленные на рис. 4–5 пунктирными линиями. Анализ кривых позволяет сделать следующее заключение: рассчитанные значения превышения температуры ТЭД совпадают по характеру с экспериментальными [15], а величина и характер кривой превышения температуры ТЭД в течение рейса напрямую зависит от режимов работы электровоза.

Сравнительный анализ результатов расчетов относительной ошибки превышения температуры по предложенному выражению (6) и по усредненным значениям (табл. 1) свидетельствует о большей ошибке (δ) при использовании последней методики [16]. Однако следует отметить, что определить реальные величины превышения температуры для конкретных условий функционирования возможно лишь экспериментальным путем.

Таблица 1 – Результаты расчетов превышения температуры

t, мин	10	20	30	40	50	δ , %
$\Delta\Theta(t)_{min}$ – $\Delta\Theta(t)_{max}$, °C	0,8–6	0,2–13	2,1–10,6	0,2–9,5	1,5–12,5	–
$\Delta\Theta_{рейс}$, °C	3,9	6,4	5,8	5,95	5,7	21
$\Delta\Theta_{сп}$, °C	2,6	6,4	4,25	4,65	5,5	67

Таким образом, теория стационарных случайных функций позволяет достаточно просто определить вероятностные характеристики тепловых процессов при переменном графике нагрузок ТЭД.

ВЫВОДЫ. Результаты исследований температурных режимов ТЭД рудничных электровозов в условиях действующих железорудных шахт свидетельствуют о нерегулярном (случайном) характере изменения функции температуры, которая находится в прямой зависимости от нагрузки.

Использование теории стационарных функций для изучения процесса изменения температуры ТЭД в процессе его работы позволяет проводить тепловые расчеты на основании правильных физических понятий, учитывающих многообразие факторов, определяющих нагрев ТЭД в неуставившихся режимах работы.

Предложенное выражение для определения превышения температуры ТЭД в течение рейса с использованием параметров стационарной случайной функции температуры позволяет проводить расчеты температурных режимов электрической машины и может быть положено в основу создания системы контроля и защиты двигателя от перегрева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скобелев В.Е. Двигатели пульсирующего тока. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 208 с.
2. Клепиков В.Б., Рогов В.Ю. О роли электропривода в решении проблемы энергоресурсосбережения в Украине // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». «Электротехника, электроника и электропривод». – Харьков, 2008. – Вып. 30. – С. 12–22.
3. Дебелый В.Л., Дебелый Л.Л., Мельников С.А. Основные направления развития шахтного локомотивного транспорта // Уголь Украины. – 2006. – Вып. 6. – С. 30–31.
4. Блиндюк В.С. Особливості застосування тягових двигунів у електроприводах // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вып. 134. – С. 199–203.
5. Жабоев М.Н. и др. Возможности совершенствования тягового привода контактных рудничных

- электровозов. – М.: Электротехника, 1993. – Вып. 5.
6. Бабец Е.К. и др. Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины в 2009–2010 гг. Анализ мировой конъюнктуры рынка ЖРС 2004–2011 гг. // Государственное агентство Украины по управлению гос. корпоратив. правами и собственностью, Гос. предприятие «Научно-исслед. горноруд. ин-т». – Кривой Рог, 2011. – 329 с.
7. Pivnyak G.G., Rogoza M.V. Main trends of development of clean coal technologies in // Mineral Resources Management. Polish Academy of Sciences. Committee of Mineral Economy. Mineral and Energy Economy Research Institute. Quarterly. – Krakow, 2006. – Iss. 22/2. – PP. 5–13.
8. Ренгевич А.А., Сергеева Т.А. Расчет весовых норм шахтных поездов при транспортировании грузов по выработкам с тяжелым профилем // Науковий вісник НГУ України. – 1998. – Вып. 3. – С. 47–49.
9. Синчук О.Н., Синчук И.О., Черная В.О. Моделирование возможностей возникновения псевдоаварийных и аварийных ситуаций в тяговых электротехнических комплексах двухосных электровозов // Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2011. – Вып. 86. – С. 151–159.
10. Синчук О.Н., Гузов Э.С., Синчук И.О. и др. Вопросы повышения надежности системы мониторинга температурных режимов тяговых электрических двигателей рудничных электровозов // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2014. – Вып. 4 (87). – С. 44–50.
11. Зарифьян А.А., Колпахчян П.Г., Аганов Р.А., Гребенников Н.В. Определение теплового режима работы силового электрооборудования электропоездов переменного тока в горных условиях работы // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – Вып. 18 (207).
12. Оат Г.П., Литун Н.И., Дардалан В.Н. Промышленные испытания аппаратуры автоматического вождения шахтных поездов // Уголь. – 1989. – Вып. 11. – С. 38–39.
13. Волков И.К., Зуев С.М., Цветкова Г.М. Случайные процессы / Под ред. Зарубина В.С., Крищенко А.П. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 448 с.
14. Носков В.И., Липчанский М.В., Блиндюк В.С. Контроль и диагностика моторвагонных поездов с использованием нейронных сетей // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. Серія «Технічні науки та архтектура». – Харків: ХНАМГ, 2011. – Вып. 101. – С. 278–283.
15. Синчук О.М., Гузов Э.С., Синчук И.О., Чорна В.О. До питання комплексності контролю параметрів функціонування електромеханічних систем шахтних електровозів // Електрифікація транспорту: науковий журнал. – Дніпропетровськ, 2015. – Вып. 9/2015. – С. 94–101.
16. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановський Ю.В. Планирование эксперимента при нахождении оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 280 с.

ESTIMATE THE TEMPERATURE MODES OF TRACTION ELECTRIC MOTORS MINE ELECTRIC LOCOMOTIVES THROUGH USE OF THE CORRELATION THEORY OF RANDOM FUNCTIONS

V. Chorna

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
ul. Pervomayskaya, 20, Kremenchug, 39600, Ukraine. E-mail: chornajav@gmail.com

O. Omelchenko

State Higher Educational Institution «Kryvyi Rih National University»
ul. XXII Partysyzda, 11, Kryvoy Rog, 50027, Ukraine. E-mail: omelchenko84@ukr.net

The article gives analysis of the accident constituent units of electromechanical complexes of mine contact electric locomotives. There are results of the industrial trials of thermal modes of traction motors during their operation in complex mine haulage provided in the article. One considered the problems of application of the method of determining the temperature of heating of the traction motors by using the root mean square value of the motor current. A low accuracy of calculation of the temperature of the engine at transient conditions was determined, using the values of the root mean square current. The article provides the results of investigations of thermal modes of traction electric motors conducted using the theory of random functions. Based on the results of the calculations one determined parameters of a stationary random function of temperature. Based on the calculations of the main elements of the correlation matrix there was suggested expression for determining the temperature rise of traction motor during flight locomotive. The article proved the possibility of applying the theory of functions of a stationary research of thermal processes in electric traction motors miner contact electric.

Key words: traction electric motor, electric, flight, temperature, correlation.

REFERENCES

1. Skobelev, V.E. (1985), *Dvigateli pulsiruiushchego toka* [Engines of the ripple current], Energoatomizdat, Leningrad. (in Russian)
2. Klepikov, V.B. and Rogov, V.Yu. (2008), "To the role of the electric drive in solving the problem of energy saving in Ukraine", *Vestnik Natsyonalnogo Tehnicheskogo Universiteta «Kharkovskiy politehnicheskyy institut»*, Vol. 30, pp. 12–22. (in Russian)
3. Debelyi, V.L., Debelyi, L.L. and Melnikov, S.A. (2006), "The main directions of development of the mine locomotive transport", *Ugol Ukrainy*, Vol. 6, pp. 30–31. (in Russian)
4. Blyndiuk, V.S. (2012), "The application features traction motors in electric drives", *Zbirnyk naukovykh prats, UkrDAZT, Kharkiv*, Vol. 134, pp. 199–203. (in Ukrainian)
5. Zhaboev, M.N. et al. (1993), *Vozmozhnosti sovershenstvovaniya tyagovogo privoda kontaknykh rudnichnykh elektrovozov* [Opportunities for improving the traction drive of the contact mine electric locomotives], Elektrotehnika, Moscow. (in Russian)
6. Babets, E.K. et al. (2011), *Sbornik tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley gornodobyvaiushchih predpriyatiy Ukrainy v 2009–2010 gg. Analiz mirovoy koniunktury rynka ZhRS 2004–2011 gg.* [Collection of technical and economic parameters of mining enterprises of Ukraine in 2009–2010. An analysis of the global iron ore market conditions 2004–2011], Gosudarstvennoe agentstvo Ukrainy po upravleniyu gos. korporativ. pravami i sobstvennostyu, Gos. predpriiatie «Nauchno-issledovatel'skiy gornorudnyy institut», Krivoy Rog. (in Russian)
7. Pivnyak, G.G. and Rogoza, M.V. (2006), *Main trends of development of clean coal technologies in Ukraine* [Mineral Resources Management. Polish Academy of Sciences. Committee of Mineral Economy. Mineral and Energy Economy Research Institute], Quarterly, Krakow, Vol. 22, no. 2, pp. 5–13.
8. Rengevich, A.A. and Sergeeva, T.A. (1998), "Calculation of weighted norms of mine trains during trans portation of goods by heavy workings profile", *Naukovyi visnyk NGU Ukrainy*, Vol. 3, pp. 47–49. (in Russian)
9. Sinchuk, O.N., Sinchuk, I.O. and Chernaya, V.O. (2011), "Modeling capabilities occurrence of pseudoemergency and emergency electrical complexes in biaxial traction locomotives", *Girnycha elektromehaniika ta avtomatyka*, Vol. 86, pp. 151–159. (in Russian)
10. Sinchuk, O.N., Guzov, E.S., Sinchuk, I.O. et al. (2014), "Questions of increase of reliability of the system temperature monitoring of traction electric motors mine locomotives", *Visnyk Kremenchut'skogo natsionalnogo universytetu imeni Myhayla Ostrogradskogo*, Vol. 4, no. 87, pp. 44–50. (in Russian)
11. Zarifyan, A.A., Kolkpakhchyan, P.G., Aganov, R.A. and Grebennikov, N.V. (2013), "Determination of thermal regime of the electric power electric alternating current operation in the mountains", *Visnyk Shidnoukrainskogo natsionalnogo universytetu imeni Volodymyra Dalia*, Vol. 18, no. 207. (in Russian)
12. Oat, G.P., Litun, N.I. and Dardalyan, V.N. (1989), "Industrial testing equipment automatic driving shaft trains", *Ugol*, Vol. 11, pp. 38–39. (in Russian)
13. Volkov, I.K., Zuev, S.M. and Tsvetkova, G.M. (1999), *Sluchayniye protsessy* [Stochastic processes], MGTU im. N. E. Bauman, Moscow. (in Russian)
14. Noskov, V.I., Lipchanskiy, M.V. and Blyndiuk, V.S. (2011), "Monitoring and diagnostics multiple units using neural networks", *Komunalne gospodarstvo mist: nauково-tehnschnyy zbirnyk Seriiia Tehnichni nauky ta arhitektura*, Vol. 101, pp. 278–283. (in Russian)
15. Sinchuk, O.N. Guzov, E.S., Sinchuk, I.O. and Chernaya, V.O. (2015), "On the issue of the complexity of the control parameters of electromechanical systems mine electric locomotives", *Elektrifikatsiya transportu: naukovy zhurnal*, Vol. 9, pp. 94–101. (in Ukrainian)
16. Adler, Yu.P., Markova, E.V. and Granovskiy, Yu.V. (1976), *Experimental design for finding optimal conditions*, Nauka, Moscow. (in Russian)

Стаття надійшла 28.08.2015.