

УДК 621.313

СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗРЕМОНТНОГО СТРОКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ РУДНИКОВИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

Рак О.М., канд. техн. наук, Следь М.М., канд. техн. наук,
Донецький державний технічний університет

Проаналізовані способи підвищення безремонтного строку експлуатації електродвигунів рудникових електровозів, та запропоновані методи їх технічної реалізації

The methods of increase of a maintenance-free effective life of electric motors of mine locomotives and proposed methods of their technical realization are parsed

Дефіцит електродвигунів рудникових електровозів сягає критичного стану у вугільній промисловості і є одним з факторів, що стримує вуглевидобування. Тому вирішення проблеми підвищення безремонтного строку експлуатації та всього терміну служби електродвигунів рудникових електровозів є одним з самих невідкладних у наш час.

Необхідність регулювання швидкості електровозу при відносно простих засобах регулювання обумовила використання у ролі приводних - двигуни постійного струму послідовного збудження. Практика їх експлуатації у складних гірничо - геологічних умовах з великою кількістю пусків і гальмувань показала низьку надійність, складність конструкції і експлуатації, що викликають велику кількість відмов електродвигунів. На рис.1 показано реальну діаграму навантаження електродвигуна рудникового електровозу. Під час пуску відрізок часу $0-t_1$ пусковий струм I_p становить 50-75 А, робота з транспортуванням вантажу (t_1-t_2) $I_p-75-100$ А, гальмування (t_2-t_3) I_r-100 А. Робота електродвигуна з струмом, що перевищує номінальний викликає теплові перевантаження, що також підтверджується тепловими дослідженнями авторів. На рис.2 показано криві нагрівання вузлів електродвигуна рудникового електровозу ДРТ-13.

Так перевищення температури обмотки якоря (крива 1)- 138 °С, а допустиме 150 °С, колектор (крива 3)- 96 (120) °С, обмотка збудження (крива 6)-165 (180) °С, корпус (крива 5)-42 (60) °С.

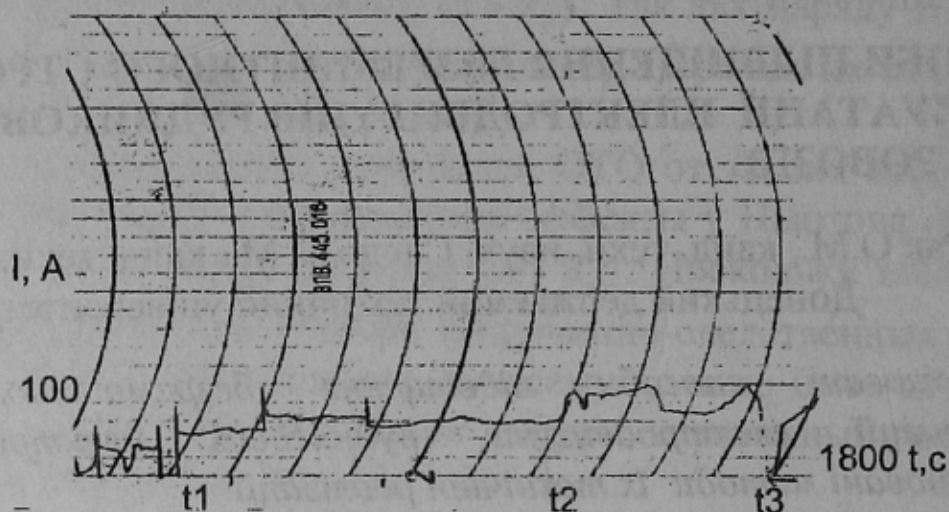


Рисунок 1 – Реальна діаграма навантаження електродвигуна рудникового електровозу

Отже при роботі в номінальному тривалому режимі роботи, згідно відповідних ТУ, перевищення температури вузлів не більше допустимих, але всі вони знаходяться близько до верхньої межі.

Результати дефектоскопічної експертизи електродвигунів за даними ДХК «Донецьквугілля», ДХК «Червоноармійськвугілля» та деяких енегоремонтних підприємств наведені в табл.1.

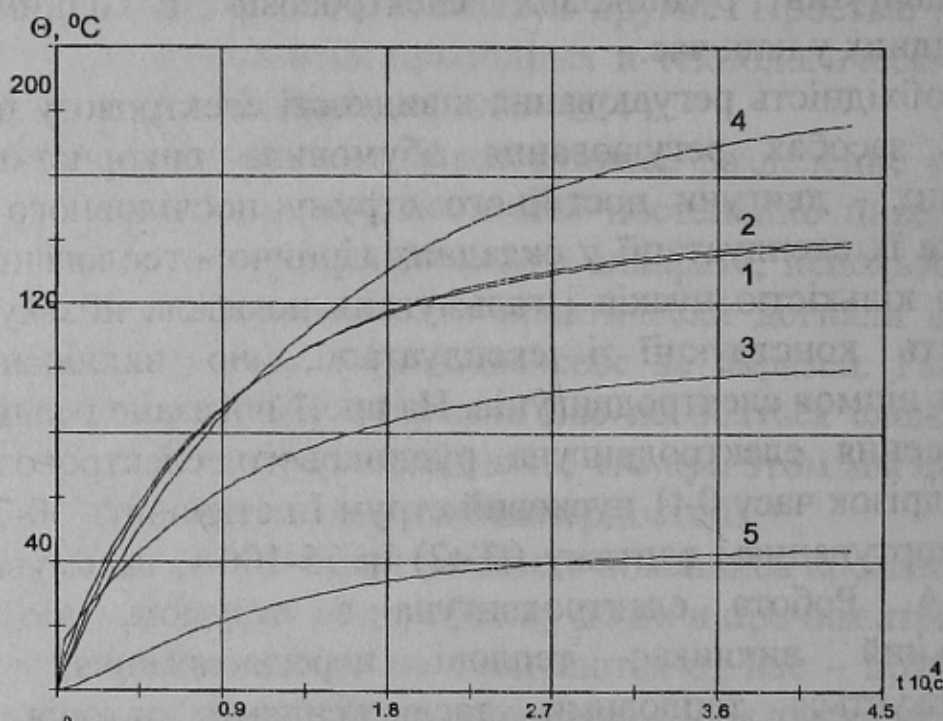


Рисунок 2 – Криві нагрівання вузлів рудникового електродвигуна у тривалому режимі роботи з природним охолодженням

1-пазова частина обмотки якоря, 2-осердя якоря, 3-колектор, 4-обмотка збудження, 5-корпус

З даних табл. 1 видно, що найбільша кількість відмов електродвигунів трапляється з причин теплових перевантажень, та в деякій мірі з причин механічного характеру. Отже існує необхідність обмеження теплових перевантажень і захисту електродвигунів від аварійних режимів. Якщо інформацію про температуру вузлів безперервно накопичувати і зберігати, наприклад у мікропроцесорних системах, то можна виконувати прогнозування залишкового строку служби ізоляції. Існує багато методів визначення терміну служби ізоляції [1,2].

На строк служби ізоляції впливають: температура, вологість, забрудненість мастилами, пилом та ін.

Таблиця 1- Результати дефектоскопічної експертизи рудникових тягових електродвигунів

Дефекти в елементах конструкції двигуна	Двигун ДРТ-13	
	Кількість	%
<u>Статор</u>		
Корпусне перемикання котушок полюсів	229	23.9
Виткове перемикання котушок полюсів	41	3.28
Розрив обмотки	23	1.87
<u>Якір</u>		
Корпусне перемикання обмотки	187	14.9
Виткове перемикання обмотки	112	8.9
Розрив бандажу	81	6.5
Руйнування шпонкового паза	81	6.5
<u>Колектор</u>		
Перемикання пластин	119	15.9
<u>Щітковий апарат</u>		
Руйнування щіткового апарата	112	8.9
<u>Підшипниковий вузол</u>		
Руйнування підшипникового вузла	117	9.35

На рис. 3 показано графік зміни температури обмотки якоря у повторно - короткочасному режимі.

Час циклу t_{Σ} складається:

- t_p – час роботи, с.;
- t_n – час паузи, с;
- θ_{max} - максимальна температура циклу, °С;
- θ_{min} – мінімальна температура циклу, °С.

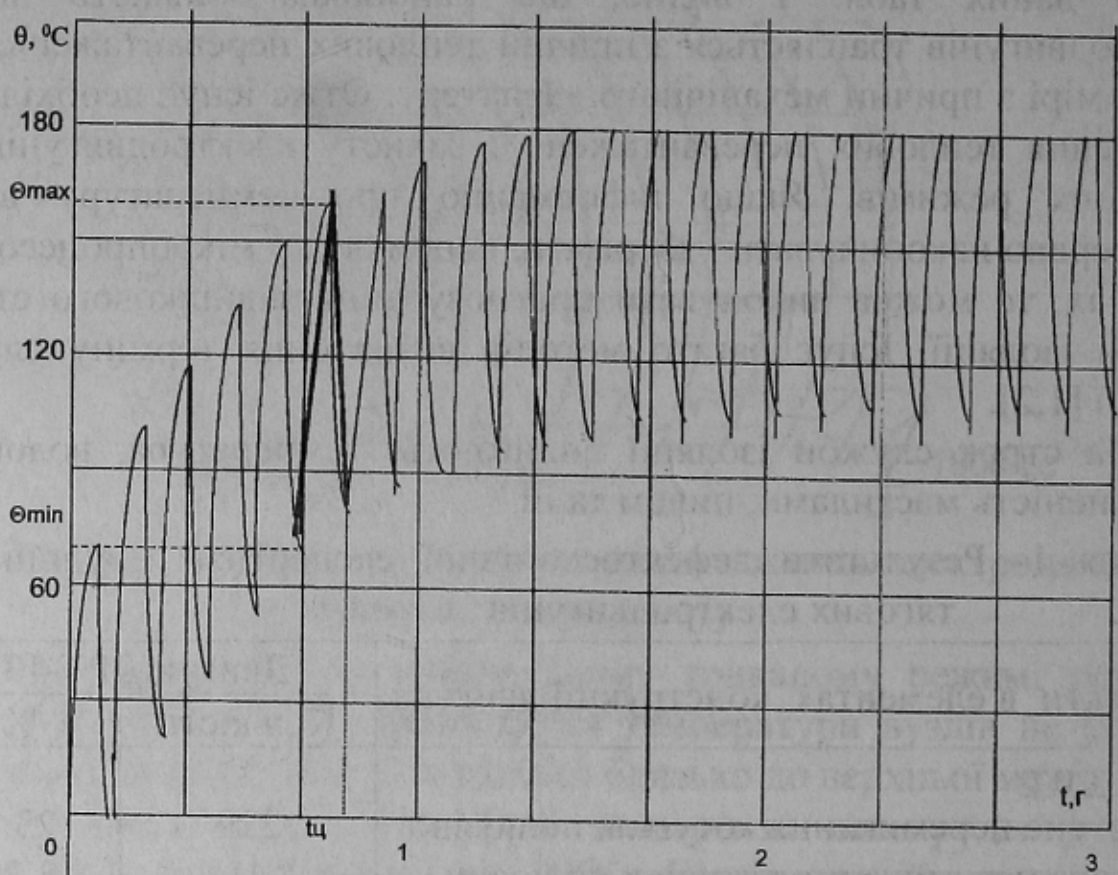


Рисунок 3 – Зміна температури у повторно-короткочасних режимах
Термін служби ізоляції відповідно середній температурі циклу визначається:

$$D_{cp} = D_0 e^{-\frac{\theta_{cp}}{\Delta\theta}}, \quad (1)$$

де D_0 - початковий строк служби ізоляції, років; θ_{cp} - середня температура циклу, °C; $\Delta\theta$ - допустимий прирост температури, що враховує енергію активації молекул для ізоляції відповідного класу, °C.

Якщо експоненційна залежність змінення температури замінюється на лінійну, то введено коефіцієнт ступеню зменшення терміну служби ізоляції β у порівнянні з середньою температурою θ_{cp} , що розраховується:

$$\beta_i = \frac{1}{t_{yi}} \int_0^{t_{uzt}} e^{-\frac{\theta - \theta_{cp}}{\Delta\theta}} dt + \frac{1}{t_{yi}} \int_0^{t_{oxl}} e^{-\frac{\theta - \theta_{cp}}{\Delta\theta}} dt = \frac{2}{\alpha} sh \frac{\alpha}{2}, \quad (2)$$

де $\alpha = \frac{\theta_{max} - \theta_{min}}{\Delta\theta}$ - коефіцієнт, що визначає відхилення коливань температури в циклі у порівнянні з постійною $\Delta\theta$. Для

обмотки якоря, ізоляція класу "F", $\Delta\theta = 18.6$ °C, для обмотки збудження, ізоляція класу "H", $\Delta\theta = 21$ °C. У таблиці 2 наведені значення коефіцієнта β та деяких значень коефіцієнта розмаху коливань α в циклі, що визначені згідно (2).

Таблиця 2 - Залежність коефіцієнта зменшення строку служби ізоляції при зміні відносного розмаху коливань температури

α	0	0.5	1	1.5	2	3
β	1.0	1.01	1.04	1.09	1.17	1.42

Після цього визначається значення залишкового строку служби

$$D_{zi+1} = D_{zi} - \frac{2}{\alpha} sh \frac{\alpha}{2} t_{yi} e^{-\frac{\theta_{cp}}{\Delta\theta}}, \quad (3)$$

У випадку роботи двигуна та його ізоляції за більше складними залежностями, наприклад у повторно-короткочасних режимах, з довільним навантаженням характеристика $\theta(t)$ може бути роздібнена на декілька відрізків, для кожного з яких визначаються θ_{cp} , α , а значення коефіцієнта зменшення строку служби ізоляції β знаходиться як середнє:

$$\beta_i = \frac{\sum \beta_i t_i}{t_y}, \quad (4)$$

На підставі наведених розрахунків можна визначити, що для надійної експлуатації електричних машин, що працюють у квазісталому температурному режимі, необхідно, щоб середнє значення температури циклу не перевищувало допустимої температури для ізоляції відповідного класу з невеликим розмахом коливань ($\alpha < 2$) температури циклу.

Коли розмах коливань перевищує допустимий, то температура циклу повинна бути знижена з урахуванням коефіцієнта β :

$$\theta_{сру} = \theta_{cp} [1 - \ln\beta], \quad (5)$$

Якщо форма кривих нагрівання (охолодження) значно відхиляється від апроксимуючих відрізків, то необхідно визначити термін служби ізоляції у кожному циклі як середній:

$$D_{cp} = (D_{\theta_{max}} + D_{\theta_{min}}) / 2, \quad (6)$$

де $D_{\theta_{max}}$ - термін служби ізоляції з максимальною температурою, років; $D_{\theta_{min}}$ - термін служби ізоляції з мінімальною температурою, років.

Результати розрахунків, виконаних за залежностями (3), (6) дозволяють визначити, що похибка результатів прогнозування не перевищує 2-5%, але в порівнянні з нормативним 7-10 років прогнозування за (3) суттєво впливає на якість виконання прогнозу. Подальші дослідження свідчать, що виконувати прогнозування за залежністю (3) можна лише для обмотки збудження.

Як було показано вище, температури вузлів знаходяться близько

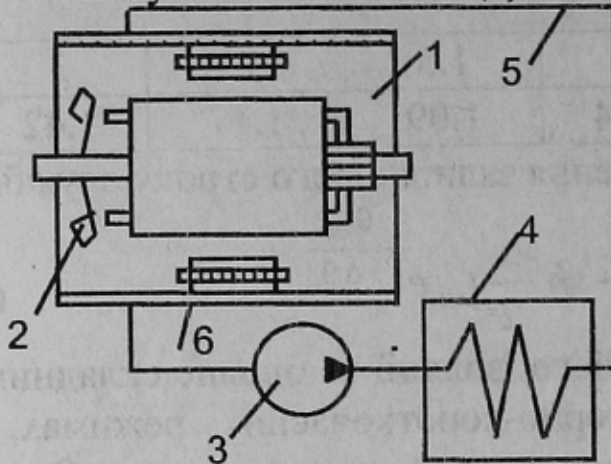


Рисунок 4 – Принципова система водо-повітряного охолодження рудникового електродвигуна

допустимих меж, тому необхідно розглянути і можливість додаткового охолодження електродвигунів. Існує багато способів додаткового охолодження електродвигунів: рідинне охолодження внутрішньої, або зовнішньої поверхні та ін., а також можливі їх комбінації. Електродвигуни рудникових електровозів виконані у вибухо-захищеному корпусі з природним охолодженням і додаткового

охолоджуючого обладнання немає, тому пропонується система з водо-повітряним охолодженням. На рис. 4 наведена система охолодження електродвигуна рудникового електровозу, що складається : 1-електродвигун з аксиальними каналами у вигляді «змійовика» на зовнішній поверхні корпуса; 2-вентилятор встановлений на вал електродвигуна для поліпшення теплообміну і підвищення рівномірності нагрівання активних частин; 3-циркуляційний насос, що має привод ременем від шківів на вихідному кінці вала; 4 - водо-повітряний теплообмінник; 5-з'єднувальні гумові шланги; 6- охолоджуюча рідина.

Принцип дії системи полягає в наступному. Теплові потоки від нагрітих частин електродвигуна передаються конвективним шляхом і шляхом теплопередавання до корпуса електродвигуна 1, відводяться охолоджуючою рідиною 6, що циркулює за допомогою насоса 3 і охолоджується в теплообміннику 5 докільням, а далі по з'єднувальним гумовим шлангам подається в корпус 1.

Визначення ефективності такої системи охолодження проводилось з використанням еквівалентної теплової схеми (ЕТС), що дозволяє з достатньою для практичних розрахунків точністю

проводити дослідження теплових перехідних процесів, що наведена в [3]. Моделлю для досліджень була обрана тепла схема електродвигуна, що складається з 10 тіл, а саме: 1-пазова частина обмотки якоря; 2-лобова частина обмотки якоря з боку колектора; 3-колектор; 4-лобова частина обмотки якоря з боку привода; 5-осердя якоря; 6-обмотка збудження; 7-осердя головного полюса; 8-наконечник головного полюса; 9 – внутрішнє повітря; 10-корпус.

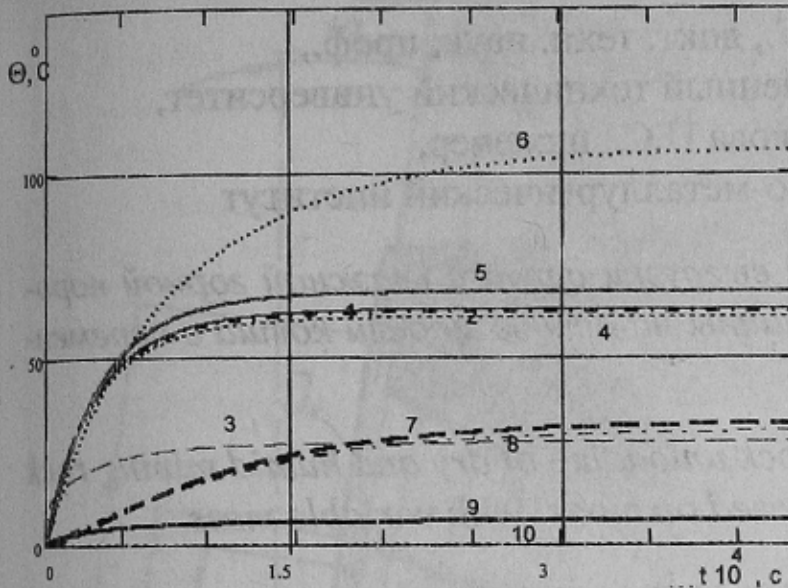


Рисунок 5 – Криві нагрівання рудникового електродвигуна з водо-повітряним охолодженням

перевищення температури 72 °С, а допускане -150 °С; осердя якоря (крива 2) - 76 °С; колектор (крива 3) -30 °С; корпус (кривая 10) -0.25 °С. Розрахунки показують, що запропонована система охолодження дозволяє підвищити потужність двигуна ДРТ-13 на 50%, тобто до 19.5 кВт.

Впровадження засобів безперервного теплового контролю та прогнозування залишкового терміну служби ізоляції електродвигунів разом з системою водо-повітряного охолодження дозволяє скоротити кількість зупинок підприємств, витрати на ремонт електродвигунів. На підставі інформації, отриманої за допомогою спеціальних засобів контролю можна своєчасно приймати заходи що до профілактичних та регламентних робіт.

Список джерел

1. Федоров М.М., Рак А.Н. К вопросу о прогнозировании остаточного срока службы изоляции электрических машин // Известия Вузов. Электромеханика.-1997-№1-2.- С.6-8.
2. О.Рак Прогнозування залишкового терміну служби ізоляції обмоток електродвигунів // Вісник Державного університету "Львівська політехніка". Проблеми економії енергії, №2. Львів: ДУ "Львівська політехніка".-1999.- С.73-76.
3. Рак А.Н. Моделирование тепловых переходных процессов с помощью математических моделей // Сб. научных трудов ДонГТУ. Серия: Электротехника и энергетика, выпуск 4:- Донецк: ДонГТУ,1999.-С.146-150.