

Р.В. Краснов

(Україна, Дніпропетровськ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

ОЦІНКА ВПЛИВУ ПЕРЕГРІВУ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРОДВИГУНА КОМПРЕСОРА ЕЛЕКТРОПОЇЗДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЕР-1, ЕР-2 ПРИ НЕНОМІНАЛЬНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ НА ТЕРМІН ЇЇ СЛУЖБИ

Умови експлуатації допоміжних електричних машин рухомого складу дуже складні, а дослідження роботи електродвигуна компресора в неномінальних режимах є досить актуальним, оскільки, як показує статистика виходу з ладу електродвигунів компресорів електропоїздів ЕР-1, ЕР-2 в Дніпропетровському локомотивному депо [3], за один рік експлуатації за причиною пробою ізоляції якоря й обмотки полюсів бракується від 12 до 56 електродвигунів компресорів, які згідно з роботою [1] повинні безвідмовно працювати протягом 10 років. Причому електричні пошкодженості (прогар обмотки якоря та обмотки головного полюса) складають їх основний обсяг. Причиною цьому є нечітка та ненадійна робота системи захисту електродвигуна компресора від перегріву та перевантажень [3].

Під неномінальним режимом роботи електродвигуна компресора слід розуміти пуск та роботу при зниженій температурі навколишнього середовища, зниженій або підвищеній напрузі в контактній мережі. У нашому випадку нас цікавить процес пуску електродвигуна, так як саме під час пуску його ізоляція найбільше підлягає термічному впливу пускових струмів.

Дослідження, проведені раніше за допомогою створеної математичної моделі [5], дозволили отримати значення еквівалентних струмів, що протікають у колі якоря електродвигуна компресора під час його пуску при різній температурі навколишнього середовища та різній напрузі в контактній мережі, (рис. 1).

Отримані значення еквівалентних струмів було використано як вихідні дані для визначення величини перегріву ізоляції якоря електродвигуна компресора [6].

Слід зазначити, що найбільше значення $I_{\text{екв}}$ досягається під час пуску при температурі навколишнього середовища -50°C та напрузі в контактній мережі 4,0 кВ і складає 38,4 А, а найменше – при 0°C та напрузі в контактній мережі 2,4 кВ і складає 26,76 А.

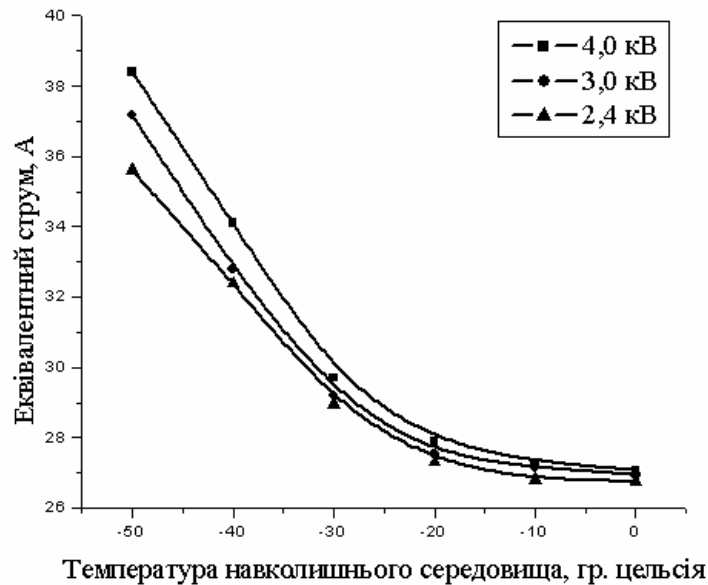


Рис. 1. Залежність величини еквівалентного струму від температури навколишнього середовища при різних значеннях напруги в контактній мережі

Для визначення величин перегріву якоря електродвигуна компресора під час його пуску при різних умовах автор скористався тепловою схемою заміщення та методом визначення перегріву, який детально описаний у роботах [6,7]. Результати розрахунків перегріву при різних умовах пуску наведені в табл. 1.

Для отримання результатів щодо терміну служби ізоляції при проведенні досліджень будемо вважати, що тривалість пуску змінюється в межах від 0 до 10 с. Затягування часу пуску при зниженні температури навколишнього середовища пов'язане з виникненням сили тертя спокою в кінематичних парах і сил тертя спокою, що обумовлені наявністю застиглої змазки. Діапазон температур, при яких електрична машина повинна нормально працювати, складає від -50 до $+40^{\circ}\text{C}$ згідно з роботою [2]. Нас цікавить діапазон мінусових температур, тому подальші дослідження будуть проводитися для температури від -50 до 0°C .

Таблиця 1

Результати розрахунків перегріву двигуна компресора при різних умовах пуску

Параметр	Температура навколишнього середовища, °C									
	0			-10			-20			
Напруга контактної мережі, кВ	2,4	3,0	4,0	2,4	3,0	4,0	2,4	3,0	4,0	
Значення еквівалентного струму, А	26,76	26,95	27,08	26,8	27,13	27,3	27,3	27,53	27,89	
Значення перегріву ізоляції при різній тривалості пуску	2 с	31,3	31,8	32,1	31,4	32,2	32,6	32,6	33,2	34
	4 с	62,4	63,3	63,9	62,5	64,1	64,9	64,9	66	67,8
	6 с	93,2	94,5	95,4	93,5	95,8	97	97	98,6	101
	7 с	108,5	110,1	111	108,8	111,5	112,9	112,9	114,8	118
	8 с	123,7	125,5	126,7	124,1	127,2	128,8	128,8	131	134,4
	9 с	139	141	142,3	139,3	142,8	144,6	144,6	147	150,9
	10 с	154	156,2	157,7	154,5	158,3	160,3	160,3	163	167,3

Параметр	Температура навколишнього середовища, °С									
	-30			-40			-50			
Напруга контактної мережі, кВ	2,4	3,0	4,0	2,4	3,0	4,0	2,4	3,0	4,0	
Значення еквівалентного струму, А	28,95	29,2	29,7	32,4	32,8	34,1	35,6	37,17	38,4	
Значення перегріву ізоляції при різній тривалості пуску	2 с	36,7	37,3	38,6	45,9	47,1	50,9	55,4	60,4	64,5
	4 с	73	74,3	76,8	91,5	93,7	101,3	110,4	120,4	128,5
	6 с	109,1	111	114,8	136,6	140	151,3	164,9	179,8	191,9
	7 с	127	129	134	159	163	176	192	209	223
	8 с	135,9	147,3	152,4	181,4	185,9	200,9	219	238,7	254,8
	9 с	162,6	165,4	171,7	203,7	208,7	225,6	246	268	286
10 с	180,3	183,4	189,8	225,8	231,4	250,1	272,6	297,2	317,2	

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що пуск при «нормальних умовах» проходить без перевищення максимального значення перегріву для даного класу ізоляції (клас В – $t_{\text{доп}} = 120^{\circ}\text{C}$). А при уповільненому пуску, залежно від його тривалості, перегрів зростає більше допустимого значення і тим самим скорочує термін служби ізоляції. Як видно з табл.1 якщо пуск затягнеться більш ніж на 7 с при напрузі в контактній мережі 4 кВ, то перегрів ізоляції почне наближатися до допустимого значення вже при температурі навколишнього середовища -10°C .

При тривалості пуску 7 с і температурі навколишнього середовища -10°C перегрів складе 113°C . При температурі навколишнього середовища -20°C і тривалості пуску 7 с перегрів складе 118°C , а при тривалості пуску 8 с перегрів досягне небезпечного значення $134,4^{\circ}\text{C}$, тобто проблеми, пов'язані з перегрівом ізоляції, починають уже виникати при зниженні температури навколишнього середовища нижче за -10°C та затягуванні часу пуску більш ніж на 7–8 с при напрузі в контактній мережі 4,0 кВ.

Отже найбільший перегрів ізоляції двигуна ДК-409 компресора ЕК-7Б спостерігається при збільшеному значенні напруги в контактній мережі – 4,0 кВ. Але, якщо розглядати проблему лише з точки зору затягування часу пуску більш ніж як на 7 с, то які б значення напруги в контактній мережі не були в момент пуску, все одно небезпечний перегрів ізоляції відбудеться, а різниця лише в тому, наскільки зменшиться термін її експлуатації. Тому розглянемо проблему зменшення терміну служби ізоляції при впливі на неї температур, на які вона не розрахована, та визначимо наскільки цей термін скорочується. Нагрівостійкість ізоляційних матеріалів різна для різних класів ізоляції і обумовлена [2].

У випадку перевищення допустимих температур, строк служби ізоляції без пошкодження різко зменшується за складним логарифмічним законом. Проведені тривалі дослідження виявили, що строк служби ізоляції класу В, яка використовується в двигуні ДК-409, може бути виражений емпіричною формулою [4]

$$T_B = 8 \cdot 10^5 \cdot e^{-0,094 \cdot t}, \quad (1)$$

де T_B – термін служби ізоляції, що вимірюється роками; t – перегрів ізоляції, °С.

Ці дослідження дозволили сформулювати так зване «правило восьми градусів», відповідно до якого підвищення температури на 8°С більше допустимого знижує строк служби ізоляції вдвічі. При цьому вважаємо, що згідно з роботою [1] нормативний строк експлуатації ізоляції електродвигуна ДК–406 компресора ЕК–7Б дорівнює 10 рокам. Згідно з цим виразом залежність $T_B(t)$ можна подати у вигляді табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків терміну служби ізоляції двигуна компресора при різних умовах пуску

Параметр		Температура навколишнього середовища, °С					
		–10			–20		
Напруга контактної мережі, кВ		2,4	3,0	4,0	2,4	3,0	4,0
Значення еквівалентного струму, А		26,8	27,13	27,3	27,3	27,53	27,89
Термін служби ізоляції при різних значеннях тривалості пуску	8 с	6,9 роки	5,1 роки	4,4 роки	4,4 роки	3,6 роки	2,6 роки
	9 с	1,6 роки	1,2 роки	1,0 рік	1,0 рік	0,8 року	0,6 року
	10 с	146 діб	102 доби	84 доби	84 доби	66 діб	44 доби

Продовження табл. 2

Параметр		Температура навколишнього середовища, °С								
		–30			–40			–50		
Напруга контактної мережі, кВ		2,4	3,0	4,0	2,4	3,0	4,0	2,4	3,0	4,0
Значення еквівалентного струму, А		28,95	29,2	29,7	32,4	32,8	34,1	35,6	37,17	38,4
Термін служби ізоляції при різних значеннях тривалості пуску	6 с	10 років	10 років	10 років	2,12 року	1,5 року	193 дні	55 днів	15 днів	5 днів
	7 с	8,7 року	7,3 року	4,6 року	0,5 року	124 доби	37 діб	11 діб	2 доби	18 годин
	8 с	2,3 року	285 діб	175 діб	11 діб	8 діб	2 доби	8 годин	1,2 години	17 хвилин
	9 с	66 діб	51 доба	29 діб	15 діб	18 годин	4,4 години	38 хвилин	4,8 хвилин	1 хвилина
	10 с	13 діб	9,5 діб	5 діб	4,2 години	2,5 години	26 хвилин	3,2 хвилини	19 секунд	3 секунди

При температурі навколишнього середовища вище за -10°C суттєвих проблем щодо уповільнення пуску, а відповідно і перегріву ізоляції, що може викликати скорочення її нормативного строку служби, не виникає, а при зниженні температури нижче за -10°C та затягуванні часу пуску більше ніж на 7 с строк служби значно скорочується. Наприклад, якщо захист електричної машини за будь-якою причиною не спрацював і тривалість пуску склала 8 с при температурі навколишнього середовища -10°C , то термін служби ізоляції відповідно складе: при напрузі в контактній мережі 4,0 кВ – 4,4 року, що на 56 % нижче від нормативного; при напрузі в контактній мережі 3,0 кВ – 5,1 року, що на 49 % нижче від нормативного, а при напрузі в контактній мережі 2,4 кВ – 6,9 року, що на 31 % нижче від нормативного.

Зі зменшенням температури навколишнього середовища ситуація ускладнюється ще більше. Так, при -20°C та тривалості пуску 8 с термін служби ізоляції складе: при напрузі в контактній мережі 4,0 кВ – 2,6 року, що на 74 % нижче від нормативного; при напрузі в контактній мережі 3,0 кВ – 5,1 року, що на 49 % нижче від нормативного, а при напрузі в контактній мережі 2,4 кВ – 4,4 року, що на 56 % нижче від нормативного.

Слід також розглянути, що відбувається з ізоляцією при зниженні температури навколишнього середовища до -30°C , так як існують випадки експлуатації рухомого складу при даній температурі. Так, при тривалості пуску 8 с і напрузі в контактній мережі 4,0 кВ термін служби ізоляції складе всього 175 діб, що на 95,2 % менше від нормативного; при напрузі в контактній мережі 3,0 кВ термін служби ізоляції складе 285 діб, що на 92,2 % менше від нормативного, а при напрузі в контактній мережі 2,4 кВ – 2,3 року, що на 76 % менше від нормативного.

Отримані результати досліджень повністю корелюються зі статистичними даними виходу з ладу електродвигунів компресорів [3] у Дніпропетровському локомотивному депо, тобто показують, що дійсний термін безвідмовної роботи значної кількості електродвигунів компресорів скорочується як мінімум на 50 %.

Список літератури

1. Правила ремонту електричних машин електровозів і електропоїздів. ЦТ – 0063 [Текст]: Затв. і введено в дію наказом Міністерства транспорту України від 27.02.2003 р. № 53Ц. – К.: Мін-во трансп. та зв'язку України, 2003. – 281 с.
2. ГОСТ 2582-81 Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. [Текст] Введ.01.01.83. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 37 с.
3. Вплив умов експлуатації на надійність двигунів компресорів електропоїздів постійного струму [Текст] / Л. В. Дубинець та ін. // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. № 18 – С. 29-31.
4. Вольдек А. И. Электрические машины [Текст] / А. И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с.
5. Дослідження перехідних процесів при пуску двигуна компресора електропоїзда EP2 (EP1) струму [Текст] / Л. В. Дубинець та ін. // Вісн. Нац. техн. ун-ту «Харківський політехнічний інститут»: зб. наук. праць. Тем. вип.: проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – 2008. – № 7. – С. 56-61.
6. Находкин М. Д. Электрические машины постоянного тока [Текст]: учеб. пособие для вузов / М. Д. Находкин. – М.: Высш. шк., 1960. – 325 с.
7. Подвижной состав электрических железных дорог: тяговые электромашини и трансформаторы [Текст] / под общ. ред. Д. Д. Захарченко. – М.: Транспорт, 1968. – 295 с.

Рекомендовано до друку: професором Івановим О.Б.

