

УДК 621.313.13.048:629.423:621.3.024

Л.В.ДУБИНЕЦЬ, А.М.МУХА, Р.В.КРАСНОВ, Д.В.УСТИМЕНКО,
О.О.КАРЗОВА, кандидати техн. наук

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту

МЕХАНІЧНІ ПОШКОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ КОМПРЕСОРІВ ТА ЇХ ЗВ'ЯЗОК З ТРИВАЛІСТЮ ПЕРШОГО ЕТАПУ ПУСКУ

Досліджується вплив підвищеного моменту опору механізму компресора на тривалість першого етапу пуску електродвигуна, а також зв'язок між тривалістю першого етапу пуску та пов'язаними із цим механічними пошкодженнями, що мають місце в реальних умовах експлуатації рухомого складу. Запропоновано використовувати тривалість першого етапу пуску електродвигуна компресора як параметр, що характеризує технічний стан механічної частини компресора при проведенні діагностування обладнання рухомого складу.

Исследуется влияние повышенного момента сопротивления механизма компресора на длительность первого этапа пуска электродвигателя, а также связь между длительностью первого этапа пуска и связанными с этим механическими повреждениями, которые имеют место в реальных условиях эксплуатации подвижного состава. Предлагается использовать длительность первого этапа пуска как параметр, характеризующий техническое состояние механической части компресора при проведении диагностики оборудования подвижного состава.

The article shows the study of the effect of high modulus compressor mechanism for the duration of the first stage motor starting, and the relationship between the duration of the first phase of launch, and associated mechanical injuries that occur in the real exploitation of rolling stock. It is proposed to use the duration of the first stage of starting as a parameter characterizing the technical conditions of the compressor during diagnostic equipment vehicles.

Ключові слова: електрорухомий склад, електродвигун, компресор, діагностування, перехідні процеси.

Статистика виходу з ладу електродвигунів компресорів, що експлуатуються на електрорухомому складі показує, що наряду з великою кількістю «електричних» пошкоджень (прогар обмотки якоря та обмотки головного полюса) мають місце у значній кількості і «механічні» пошкодження, такі як обрив валу електродвигуна компресора.

Для оцінки надійності окремих вузлів двигунів використаєм поняття пошкоджуваності, як відношення кількості машин, що вийшли з ладу з тих чи інших причин до загальної кількості машин, за якими велось спостереження [1]. Результати розрахунків за статистичними даними Дніпропетровського моторвагонного депо наведені у таблиці, з якої видно, що пошкоджуваність валу електродвигуна компресора, через його обрив, є основною причиною виходу з ладу електродвигуна компресора наряду з пробоем ізоляції обмоток якоря та полюсів.

Якщо причини «електричних» пошкоджуваностей у теперішній час відносно з'ясовані, то теоретичні дослідження з метою пояснення,

чому відбувається «обрив» валу електродвигуна компресора невідомі. Тому в даній роботі поставлена мета: провести дослідження та дати пояснення, чому відбувається «обрив» валу електродвигуна в реальних умовах експлуатації.

Основною причиною обриву валу електродвигуна може бути втома металу, а також підвищений момент опору механізму при пуску, що може бути викликана цілим рядом причин (відсутність мастила в картері компресора внаслідок його втрат через зношені сальники та поршневі кільця, несправність підшипників, низька температура навколишнього середовища). Тобто особливу увагу при проведенні досліджень необхідно приділити саме процесу пуску.

Пошкоджуваність основних вузлів електродвигунів ДК-409 за 2000-2010 роки

Вид несправності	Пошкоджуваність										
	2000 р.	2001 р.	2002 р.	2003 р.	2004 р.	2005 р.	2006 р.	2007 р.	2008 р.	2009 р.	2010 р.
Пробій ізоляції обмотки якоря	0,24	0,12	0,18	0,19	0,11	0,13	0,12	Перезоподілення парку електропоїздів ЭР-1	0,43	0,25	0,24
Знос сальника	0,031	0,038	0,031	0,031	0,023	0,015	0,008		0	0	0
Вихід з ладу підшипника	0,038	0,015	0	0,046	0	0,008	0,015		0	0	0
Пробій ізоляції обмотки збудження	0,085	0,054	0,077	0,11	0,077	0,046	0,008		0,1	0,05	0
Обрив вала	0,038	0,015	0,038	0,031	0,031	0,023	0,046		0,075	0,075	0,2
Зношення вала	0	0,015	0	0,015	0	0,015	0		0,05	0	0,04

Для дослідження процесу пуску електродвигуна використовується математична модель (1)

$$\left\{ \begin{aligned}
 & I_{\text{я}} R + L \frac{dI_{\text{я}}}{dt} + \frac{pN}{60a} \cdot \frac{30\omega}{\pi} \Phi + 2p w k_{\delta} \frac{d\Phi}{dt} = U_{\text{я}} \\
 & 1,23 R_{m1} \Phi_1 + g_{\mu} \frac{d\Phi_1}{dt} + \Phi (R_{mk} - R_{m1}) = F_{\text{нлк}} + w_1 I_{\text{я}}; \\
 & 5,29 R_{m1} (\Phi - \Phi_1) + 0,477 g_{\mu} \frac{d(\Phi - \Phi_1)}{dt} + \Phi (R_{mk} - R_{m1}) = F_{\text{нлк}} + w_1 I_{\text{я}}; \\
 & J \frac{d\omega}{dt} = \frac{pN}{60a2\pi} \Phi I_{\text{я}} - \left(M_{\text{оп.поч}} + (M_{\text{оп.ст}} - M_{\text{оп.поч}}) \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}} \right)^2 \right);
 \end{aligned} \right. \quad (1)$$

де $I_{\text{я}}$ – струм якоря, А; R – опір кола двигуна, Ом; L – індуктивність розсіювання двигуна, Гн; p – кількість пар полюсів; a – кількість пар паралельних гілок якоря; N – кількість провідників обмотки якоря; ω – кутова швидкість обертання вала електродвигуна, с^{-1} ; Φ , Φ_1 – магнітний потік обмотки збудження і його основна гармоніка відповідно, Вб; w – кількість витків обмотки збудження; k_{δ} – коефіцієнт розсіювання; $U_{\text{я}}$ – напруга, прикладена до якорного кола, В; R_{m1} , R_{mk} – магнітні опори обмотки збудження на першій та k -ій ділянках магнітної характеристики, Гн^{-1} ; $(\Phi - \Phi_1)$ – сумарний магнітний потік вищих гармонік обмотки збудження, Вб; g_{μ} – магнітна індуктивність основної хвилі магнітного потоку обмотки збудження, См; F_{nlk} – магніторушійна сила, що враховує нелінійність магнітної характеристики головних полюсів для k -ої ділянки, А; w_1 – кількість витків обмотки головних полюсів, що враховує дію реакції якоря; J – приведений до вала електродвигуна момент інерції електропривода, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $M_{\text{оп.поч}}$ – початковий момент опору тертя при кутовій швидкості, що дорівнює нулю; $M_{\text{оп.ст}}$ – момент опору механізму компресора після завершення процесу пуску; $\omega_{\text{ном}}$ – номінальне значення кутової швидкості обертання вала електродвигуна, с^{-1} .

Вказана математична модель [2,3] описує протікання перехідних процесів у системі «електродвигун-компресор» з врахуванням реальних умов експлуатації рухомого складу (значення напруги в контактній мережі, температури навколишнього середовища (t_{nc}), тиску в пневмережі та технічного стану компресора). Значення напруги в контактній мережі в математичній моделі враховується через $U_{\text{я}}$ (половина значення напруги в контактній мережі, так як електродвигун компресора живиться від дільника напруги), температура навколишнього середовища враховується через $M_{\text{оп.поч}}$ (рис. 1), значення тиску в пневмережі враховується відповідним коефіцієнтом перед $M_{\text{оп.поч}}$ (рис. 2), а технічний стан компресора через $M_{\text{оп.ст}}$. За допомогою даної математичної моделі визначено залежність тривалості першого етапу пуску від початкового моменту опору при різних значеннях напруги в контактній мережі та температури навколишнього середовища при пуску з протитиском у 6,5 атм (рис. 3).

Проведено аналіз параметрів рис. 3 з метою показати суттєвий вплив напруги в контактній мережі, температури навколишнього середовища та початкового моменту опору на тривалість першого етапу пуску.

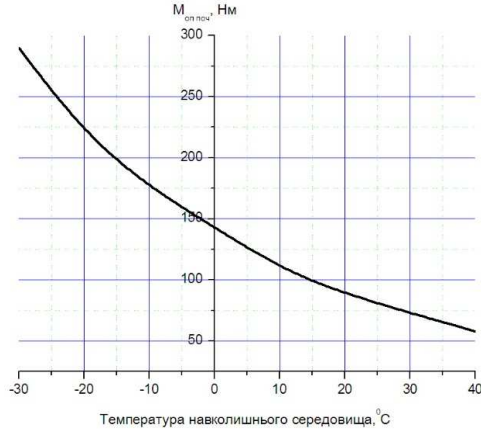


Рис. 1 – Залежність $M_{\text{оп.пoc}}$ компресора ЭК-7Б від $t_{\text{нс}}$ при пуску з протитиском в 6,5 атм

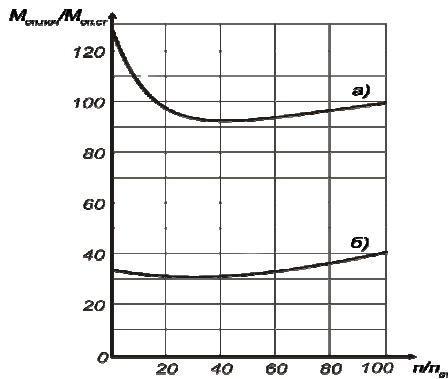


Рис. 2 – Механічні характеристики поршневого компресора при пуску під навантаженням (протитиском) – а), та при пуску без навантаження – б)

Момент крутіння, при якому вал електродвигуна може бути пошкоджено визначаємо за методикою наведеною в роботі [4]. Як приклад, визначимо величину критичного моменту крутіння $M_{\text{крит}}$ для валу діаметром $d = 45$ мм виготовленого із вуглецевої конструкційної сталі.

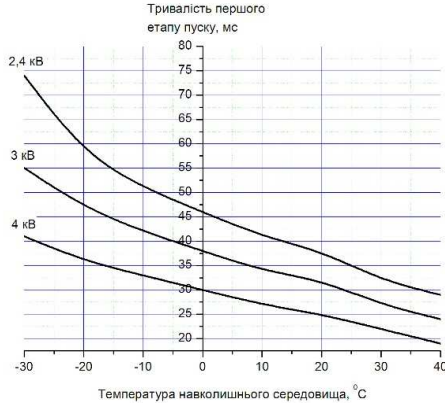


Рис. 3 – Залежність тривалості першого етапу пуску електродвигуна ДК-409 від $t_{ис}$ при різних значеннях напруги в контактній мережі під час пуску з протитиском у 6,5 атм.

Відповідно до [4], діаметр валу електродвигуна розраховано з умови, що:

$$\tau_{кр} \leq [\tau]_{кр} \quad (2)$$

де $\tau_{кр}$ – напруга, що виникає в результаті крутіння валу, МПа; $[\tau]_{кр}$ – критично допустима напруга при крутінні, МПа.

В свою чергу напруга, що виникає в результаті крутіння валу визначається як [4]:

$$\tau_{кр} = \frac{16M_{кр}}{\pi d^3} \leq [\tau]_{кр}, \quad (3)$$

де $M_{кр}$ – критично-допустимий момент крутіння валу, Нм; d – діаметр вала, мм.

Згідно із [4], $[\tau]_{кр} = 15...20$ МПа (Н/мм²) – допустима напруга для вуглецевої конструкційної сталі. В нашому випадку приймаємо, що $\tau_{кр} = [\tau]_{кр}$, тоді відповідно вираз (3) прийме наступний вигляд:

$$[\tau]_{кр} = \frac{16M_{кр}}{\pi d^3}. \quad (4)$$

Звідки критично допустиме значення моменту крутіння:

$$M_{кр} = \frac{\pi d^3 [\tau]_{кр}}{16}. \quad (5)$$

Приймаємо, що $[\tau]_{кр} = 16$ Н/мм², тоді значення критично допустимого моменту буде наступним:

$$M_{кр} = \frac{3,14 \cdot 45^3 \cdot 16}{16} = 286132,5 \text{ Нмм} = 286 \text{ Нм.}$$

Таким чином, в результаті досліджень встановлено, що у разі перевищення електродвигуном ДК-409 критичного моменту $M_{кр} = 286 \text{ Нм}$ може відбутися руйнування його валу.

Розглянемо конкретний приклад. Згідно з рис. 1, під час пуску електродвигуна компресора при температурі навколишнього середовища -30°C з врахуванням протитиску у гальмівній магістралі він розвиває електромагнітний момент 290 Нм , а тривалість першого етапу пуску при цьому найбільша (від 41 мс при 4 кВ до 74 мс при $2,4 \text{ кВ}$). Тобто, якщо в реальних умовах експлуатації локомотивною бригадою не буде проведено відповідну передстартову підготовку (прогрівання мастила у картері) для зменшення початкового моменту опору, то існує велика вірогідність того, що вал електродвигуна компресора може бути зруйнований.

Але при експлуатації рухомого складу збільшення моменту опору може бути викликано не лише зменшенням температури навколишнього середовища, але і технічним станом механічної частини самого компресора, що в математичній моделі (1) характеризується величиною $M_{оп.ст.}$, який також впливає і на величину початкового моменту опору $M_{оп.поч.}$. В свою чергу збільшення початкового моменту опору призводить до збільшення тривалості першого етапу пуску.

Стає очевидним той факт, що тривалість першого етапу пуску може характеризувати при певних умовах технічний стан механічної частини компресора. Тому при проведенні технічного обслуговування компресорів електрорухомого складу є можливість, за допомогою спеціальних сучасних технічних пристроїв, визначати технічний стан механічної частини компресора по тривалості першого етапу пуску.

1. Вплив умов експлуатації на надійність двигунів компресорів електропоїздів постійного струму / Р.В. Краснов та ін. // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 18. – С. 29-31.

2. Дубинець Л.В. Дослідження перехідних процесів при пусковій двигуна компресора електропоїзда ЕР-1 (ЕР-2) / Л.В. Дубинець, Р.В. Краснов, Д.В. Устименко // Вестн. НТУ «ХПІ» № 7 – 2008. – С. 56-61.

3. Жиц М.З. Переходные процессы в машинах постоянного тока / М.З. Жиц. – М.: Энергия, 1974. – 112 с.

4. Чернавский С.А. Проектирование механических передач. / С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцов. – М.: Машиностроение, 1984 – 640 с.

Отримана 05.06.2013