

УДК 621.313.13.024:621.512:629.423

КРАСНОВ Р. В., к.т.н., б/з (ДНУЗТ)

Аналіз роботи існуючого захисту електродвигунів ДК-409 компресорів електропоїздів ЭР-1, ЭР-2

Вступ

Згідно з аналізом відмов електрообладнання рухомого складу [1], кількість електричних пошкоджень електродвигуна ДК-409 компресора (пробій ізоляції обмотки якоря та обмотки збудження) складають в середньому 70 % від загальної кількості пошкоджень цих двигунів.

Однією з ймовірних причин, що призводить до інтенсивного перегрівання ізоляції і передчасного виходу її з ладу є недосконалий захист машини, як при короткочасних (режим пуску) так і при тривалих перенавантаженнях.

Матеріали і результати дослідження

Захист від перенавантажень електродвигунів запобігає недопустимому перегрі-

ванню двигуна, який можуть спричинити порівняно невеликі за величиною, але тривалі, теплові навантаження. Цей захист використовується тільки для двигунів тих механізмів, у яких можливі ненормальні підвищення навантаження при порушенні робочого процесу. Апарати захисту при виникненні перенавантаження вимикають двигун з певною затримкою часу. Більшою – при менших перенавантаженнях, а у випадках значних перенавантажень – з меншою.

Електродвигун ДК-409 компресора ЭК-7Б на електропоїздах ЭР-1, ЭР-2 захищений від струмів перенавантаження та струмів коротких замикань за допомогою реле перенавантаження Р-103 з механізмом повернення Р-102. На схемах його позначають як РПД, РПК, РПО (рис. 1).

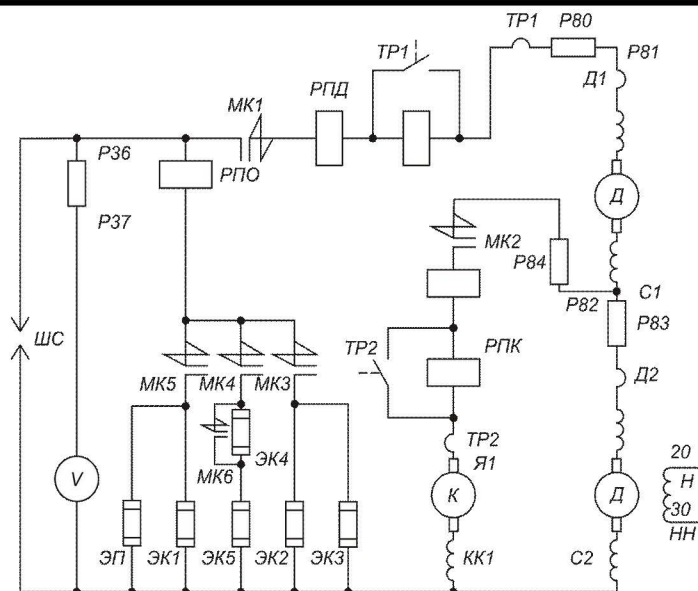


Рис. 1. Схема високовольтних допоміжних кіл головного вагона електропоїзда
ЭР-1 (ЭР-2)

Реле складається із двох частин: верхньої високовольтної (Р-103), що контролює струм перенавантаження, і нижньої низьковольтної (Р-102), що виконує функції відновлюючого реле (механізму повернення). Обидві частини працюють у сполученні одна з одною. Реле Р-103 являє собою конструкцію клапанного типу, на магнітопроводі якого встановлена силова котушка, включена послідовно з колом, що захищається.

У реле перенавантаження компресора для підключення теплових реле ТРВ-8,5 силові котушки поділені на дві секції. Струм уставки реле перенавантаження більше найбільшого пускового, який може виникнути в процесі пуску при найбільшій напрузі в контактній мережі. Реле перенавантаження не забезпечує захист від тривалих струмів перенавантаження, менших від струмів уставки. Тому система захисту доповнена тепловим самовідновлювальним реле ТР2 (типу ТРВ-8,5), контакти яких при цьому розмикаються і вводять в коло другу секцію котушки РПК. Загальна кількість діючих витків котушки реле перенавантаження в цьому випадку збільшується і його струм уставки знижується.

Напруга на двигун компресора К подається контактором МК2 від середньої точки дільника напруги Д. Реле перенавантаження компресора має дві послідовно ввімкнених обмотки, одна з яких зашунтована блок-контактом теплового реле ТР2. При досягненні струму у колі якоря електродвигуна компресора значення більшого ніж струм уставки реле перенавантаження РПК, останнє спрацьовує і своїм блок-контактом розриває коло живлення котушки контактора МК2 (на рис. 1 коло котушки МК2 не показано).

При спрацьовуванні теплового реле ТР2 блок – контакт ТР2 розмикається, тому в коло якоря вводиться друга обмотка, що приводить до зменшення струму спрацьовування РПК. Реле РПК спрацьовує і своїм блок-контактом розриває коло котушки контактора МК2.

В основу принципу дії теплового реле ТРВ-8,5, як і більшості теплових реле даного типу, покладено деформування внаслідок нагрівання біметалевої пластини. Внаслідок нагрівання біметалева пластинка деформується, призводячи до спрацьовування механізму захисту.

При струмі 12 А теплове реле повинно спрацьовувати через 60 секунд, а

при струмі 30 А – через 2,5 секунди. При струмі 35 А і більше спрацьовує реле перенавантаження РПК (рис. 1) типу Р-103. Згідно з паспортними даними номінальний струм електродвигуна ДК-409 компресора дорівнює 4,65 А

Автором проведені стендові випробування 10 екземплярів реле типу ТРВ-8,5 з метою встановлення реального часу, за який відбувається спрацьовування даних реле при відповідних значеннях діючого струму.

На основі отриманих експериментальним шляхом усереднених результатів збудована залежність $t=f(I)$ теплових реле ТРВ-8,5 і представлена на рис. 2.

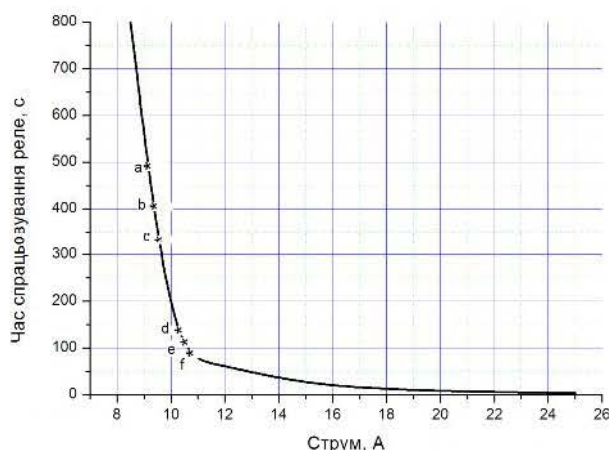


Рис. 2. Дослідна залежність $t=f(I)$ теплових реле ТРВ-8,5

Стендові випробування показали, що при затягуванні з різних причин (особливо взимку) процесів пуску та подальшої роботи, при яких струм якоря $5 \text{ А} < I_a < 10 \text{ А}$, може відбутися перегрівання ізоляції, що підтверджується статистичними даними по кількості пошкоджень ізоляції двигунів компресора в експлуатації (до 70 % від загальної кількості пошкоджень цих двигунів). Таким чином, існує потреба в детальному аналізі причин перегріву ізоляції двигунів компресора електропоїздів ЭР-1, ЭР-2 з урахуванням реальних умов їх експлуатації у теперішній час.

Температура навколишнього середовища може значно впливати на механічні характеристики компресора і відповідно на значення струму в його електродвигуні. По мірі зниження температури в результаті збільшення в'язкості мастила зростають момент опору компресора і моменти тертя у приводних двигунах. Поршневі компресори, що широко застосовуються на електрорухомому складі, мають найбільший момент тертя внаслідок значно розвинених поверхонь тертя.

В результаті експериментальних досліджень поршневого компресора типу Э-500, що також використовується на рухомому складі (електровози ВЛ-60) і має аналогічну конструкцію до компресора ЭК-7Б, проведених при різних температурних умовах, отримана залежність початкового моменту опору від температури при відсутності протитиску (рис. 3) [2]. При низьких температурах застосовувався зимовий тип мастила К-12 або КС-12.

Як видно з графіка (рис. 3) початковий момент опору значно залежить від температури навколишнього середовища. При зниженні температури навколишнього середовища від $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ до $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ величина початкового моменту опору збільшується в 2 рази, а якщо врахувати дію протитиску, це значення дещо збільшиться.

Особливе значення має підвищений момент опору холодного компресора на електропоїздах. У випадку, коли на електровозі мотор-компресор не запускається, машиніст може, наприклад, «розкачати» його вручну. На електропоїзді машиніст навіть не знає, який із мотор-компресорів не запустився.

Пуск електропривода – складний процес взаємодії моментів, в формуванні яких приймають участь електромеханічний перетворювач (електродвигун) з одного боку і технологічний механізм з другого [3].

Властивості двигуна та механізму (у нас це компресор) виражаються відповідними механічними характеристиками.

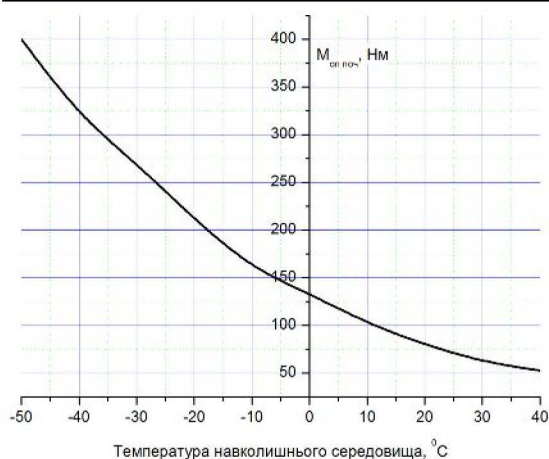


Рис. 3. Залежність початкового моменту опору компресора Э-500 від температури

В [4, 5] детально розглянуті моменти опору різних механізмів і особливо виділений момент рушання спокою в підшипниках та застиглому мастилу в картері (початковий статичний момент), що перевищує момент тертя $M_{тр}$, який існує після того, як агрегат зрушився з місця.

Механічні характеристики поршневого компресора $M=f(n)$ у відносних одиницях представлені на рис. 4.

Згідно з характеристикою а) – момент рушання компресора під навантаженням в 1,3 рази перевищує значення моменту опору $M_{оп.ст}$ (момент опору компресора після закінчення процесу пуску), що додатково ускладнює процес пуску.

Початковий момент опору $M_{оп.поч}$ є наслідком роботи сил тертя спокою в підшипниках, ущільнювачах, циліндрі і кривошипно-шатунному механізмі, а також в зоні контакту поршня з технологічною середою. Момент опору зменшується по мірі повороту вала компресора в результаті руйнування складових, обумовлених в основному зміною в'язкості мастила в картері, а також зміною середовища, з яким взаємодіє поршень компресора.

При швидкості ω_1 компресор починає працювати відповідно до своєї природної механічної характеристики. Таким чином, в процесі рушання долаються сили тертя спокою. По мірі повороту вала компресора разом з руйнуванням зв'язків, які існують у

застиглому мастилі, відбувається зменшення моменту опору компресора (рис. 5, точка а).

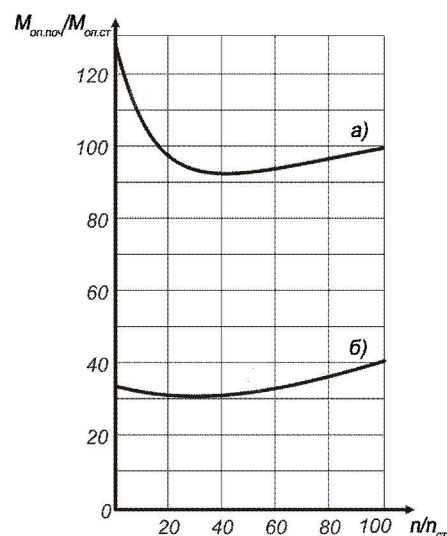


Рис. 4. Механічні характеристики поршневого компресора при пуску під навантаженням (протитиском) – а), та при пуску без навантаження – б)

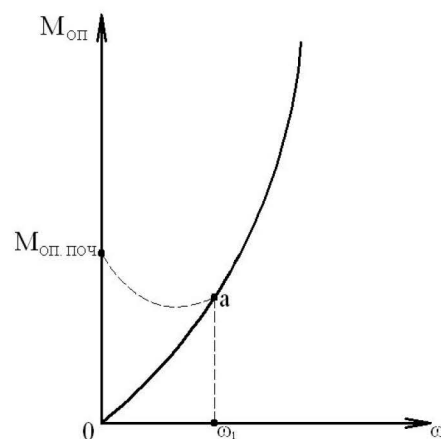


Рис. 5. Механічна характеристика поршневого компресора

Початковий момент опору $M_{оп.поч}$ – знаходимо за допомогою рис. 3, з якого видно, що:

$$M_{оп.поч} = 1,3M_{оп.ст} \quad (1)$$

Автором пропонується розглядати пуск компресора як такий, що складається з двох етапів: перший – напругу на

електродвигун подано, а ротор ще не обертається, другий – ротор набирає оберти від нуля до сталого значення.

Тривалість першого етапу пуску може бути збільшена також внаслідок погіршення технічного стану самого компресора, а саме через витікання мастила з картера компресора через зношені сальники або руйнування підшипників, що в свою чергу призводить до двох основних несправностей – обриву вала компресора [6] або пробоя ізоляції обмотки якоря та полюсів.

Проведені дослідження, в тому числі експериментальні, показали, що тривалість першого етапу пуску технічно справного компресора без підігріву картера у зимовий період не перевищує 8-10 с, що не призводить до нагрівання ізоляції зверх допустимих меж. Але якщо компресор знаходиться у технічно несправному стані за вищевказаними причинами (такі випадки мають місце в експлуатації), то відповідно він буде працювати з підвищеним моментом опору. Під підвищеним значенням моменту опору будемо вважати такий момент, який після закінчення процесу пуску буде перевищувати значення номінального моменту ЕД компресора, тобто $M_{оп.ст} > M_{ном}$. Відповідно збільшення початкового моменту опору $M_{оп.поч}$, що призводить до збільшення тривалості першого етапу пуску, викликане в свою чергу збільшенням моменту опору механізму компресора. Таким чином електродвигун компресора буде працювати у режимах, при яких по колу якоря будуть протікати струми, що перевищують номінальний струм ($I_{ном} = 4,65$ А) протягом часу, за який ізоляція обмотки якоря нагрівається до небезпечних температур, не викликаючи при цьому спрацьовування теплового реле ТРВ-8,5 (точки а, б, с – перший режим роботи та d, е, f – другий режим роботи на рис. 2).

Важливо також враховувати реальний режим роботи приводного електродвигуна компресора. Як правило, мотор-компресори рухомого складу працюють у повторно-короткочасному режимі. Такий режим

характеризується наявністю циклів, що складаються з робочого часу t_p і паузи t_n .

Основний параметр повторно-короткочасного режиму – тривалість

$$ТВ = \frac{t_p}{t_p + t_n} \cdot 100 \% = 50 \% \quad \text{при}$$

тривалості циклу $T_{ц} = t_p + t_n = 10$ хвилин [7].

Технічний стан напірної магістралі, споживачів стисненого повітря, а також самого компресора впливають на режим роботи системи мотор-компресор. Так, при зношеній поршневій групі компресор не розвиває потрібної продуктивності, а отже для створення необхідного тиску в магістралі потрібно більше часу. В цьому випадку робочий час t_p циклу збільшується, що може призвести до перегрівання електродвигуна компресора і, як наслідок, до передчасного його виходу з ладу.

До такого результату призводять також погіршений технічний стан напірної магістралі (низька щільність) і несправність споживачів стисненого повітря (електропневматичних вентилів і т. і.).

При певній сукупності вказаних причин значення $M_{оп.поч}$ може бути таким, що струм в обмотці якоря буде $5 \text{ А} < I_{я} < 10 \text{ А}$, при якому теплове реле не спрацьовує, а перегрів ізоляції відбувається. Тому постає задача про вдосконалення системи захисту електродвигунів компресорів.

Висновки

У статті автором проведено аналіз роботи існуючого захисту електродвигунів компресорів електропоїздів постійного струму ЭР-1, ЭР-2 від аварійних режимів і доведена доцільність заміни вказаного захисту на більш сучасний тому, що даний тип захисту свої функції не виконує.

Список літератури:

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. Некрасов, О. А. Вспомогательные машины электроподвижного состава переменного тока / О. А. Некрасов. – М.: Транспорт, 1967. – 168 с.

3. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.

4. Сыромятников, И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. / И. А. Сыромятников.; под ред. Л. Г. Мамиконянца – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 200 с.

5. Гладырь, А. И. Трогание и пуск как фазы единого процесса / А. И. Гладырь // Научн. труды КГПУ. Вып. 1 /2001(10) – С. 24-29.

6. Механічні пошкодження електродвигунів компресорів та їх зв'язок з тривалістю першого етапу пуску / Р. В. Краснов та ін. // Збірник статей Харківської національної академії міського господарства. – 2013. – Вип. 109. – С. 122 – 127.

7. Технічний паспорт компресора ЭК-7Б електропоїзда постійного струму ЭР-1, ЭР-2. 1982. – 24 с.

Анотації:

В статті проведено аналіз роботи існуючого захисту електродвигунів компресорів ДК-409 електропоїздів постійного струму ЭР-1, ЭР-2 і доведена доцільність заміни вказаного захисту на більш сучасний так як даний тип захисту свої функції не виконує.

Ключові слова: електродвигун компресора, апарати захисту, перевантаження, теплове реле, момент опору, електропоїзд.

В статье проведен анализ работы существующей защиты электродвигателей компрессоров ДК-409 электропоездов постоянного тока ЭР-1, ЭР-2 и доказана целесообразность замены указанной защиты на более современную так как данный тип защиты свои функции не выполняет.

The article analyzes the protection of the existing compressor motor DK-409 electric DC ER-1, ER-2 and the expediency of replacing the specified protection to a more modern as the given type of protection does not perform its function.