

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗМІНИ РЕЖИМУ РОБОТИ НА СТУПІНЬ НАГРІВУ ІЗОЛЯЦІЇ ОБМОТКИ ЯКОРЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА

Стаття присвячена питанню дослідження факторів, що впливають на зміну режиму роботи електродвигуна компресора, які в свою чергу впливають на ступінь нагрівання ізоляції обмотки якоря ЕД.

*Ключові слова:* мотор-компресор, тривалість включення, еквівалентний струм, теплові процеси, перегрів ізоляції, захист

Згідно статистичних даних експлуатації електропоїздів ЭР-1 та ЭР-2 [1] за один рік з ладу виходить від 20 до 56 електродвигунів ДК-406 (409) компресорів ЕК-7Б по причині пробою ізоляції якірної обмотки.

Ймовірними причинами, що призводять до такого стану можуть бути:

- перевантаження електродвигуна компресора струмами короткого замикання (як короткочасними так і більш тривалими у часі);
- недосконалий захист електродвигуна компресора;
- робота мотор-компресора з невідповідною тривалістю включення (ТВ).

В даній статті розглянуто вплив зміни напруги в контактній мережі та значень ТВ на перегрівання ізоляції обмотки якоря електродвигуна (ЕД). Штучно змінюючи значення тривалості ввімкнення, визначено яким чином цей факт впливає на температуру нагрівання ізоляції якірної обмотки ЕД. Так як в реальних умовах експлуатації дослідити зміну ТВ через недосконалий ремонт, неякісні запасні частини та їх відсутність, низьку щільність пневматичних магістралей і т.ін. фізично неможливо, то вказане дослідження проведено за допомогою математичної моделі [2], що описує перехідні процеси в електромеханічній системі «мотор-компресор» та теплової моделі [3], що описує процеси нагрівання та охолодження ізоляції обмотки якоря електродвигуна.

Для отримання значень температури нагрівання ізоляції скористаємось значеннями

еквівалентних струмів, отриманих у попередніх дослідженнях [4].

Під еквівалентним струмом слід розуміти таке значення постійного струму, який, протікаючи через провідник, виділить в ньому таку ж кількість тепла, як і той струм, що змінює своє значення у часі за той же період.

Таблиця 1

Температура навколишнього середовища, °С	+20			0			-20		
	Значення напруги в контактній мережі			Значення напруги в контактній мережі			Значення напруги в контактній мережі		
Значення напруги в контактній мережі	Напруга в контактній мережі, кВ			Напруга в контактній мережі, кВ			Напруга в контактній мережі, кВ		
	2,4	3,0	4,0	2,4	3,0	4,0	2,4	3,0	4,0
Значення еквівалентного струму, А	8,45	9,82	12,25	8,96	10,1	12,47	9,84	10,7	12,79

Згідно з ПТЕ [5] допустиме мінімальне та максимальне значення напруги в контактній мережі складає 2400 та 4000 В відповідно.

В результаті проведених досліджень за допомогою математичної моделі [3] встановлено, що при зниженні напруги в контактній мережі до 2,4 кВ усталене значення струму, що протікає через обмотку якоря ЕД компресора становить 3,7 А, що в 1,26 рази менше паспортного номінального струму 4,65 А. Еквівалентний струм при пуску має значення 8,45 А. При цьому усталене значення максимальної кутової швидкості складає  $84,56 \text{ с}^{-1}$ , що відповідає частоті обертання вала 807,5 об/хв.

Кутова швидкість вала компресора при напрузі 2400 В знижується до значення  $84,56 \text{ с}^{-1}$ , що складає  $84,56/106,8 \cdot 100 = 79,2 \%$  від  $\omega_{\text{ном}}$ .

Час наповнення головних повітряних резервуарів електропоїзда ЭР-1, ЭР-2 зворотно-

пропорційний значенню кутової швидкості вала ЕД компресора. Тобто при зниженні обертів з 1020 об/хв. до 807,5 об/хв. (зниження на 20,8 %) продуктивність компресора падає, а час роботи для потрібного заповнення резервуарів збільшується на 20,8 %.

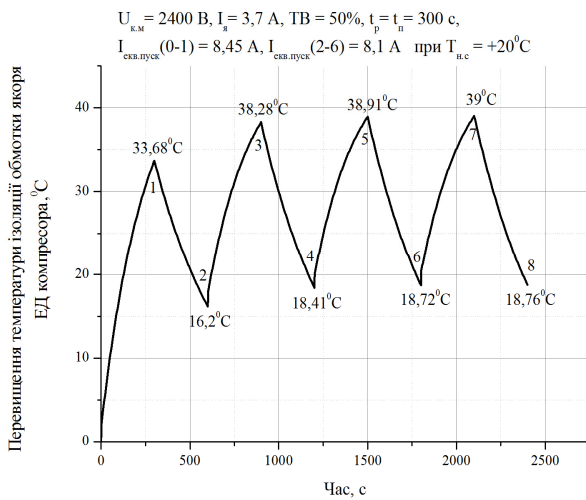


Рис. 1. Діаграма нагрівання ізоляції обмотки якоря ЕД ДК-406 (409) під час пуску і роботи у повторно-короткочасному режимі при напрузі в контактній мережі 2,4 кВ

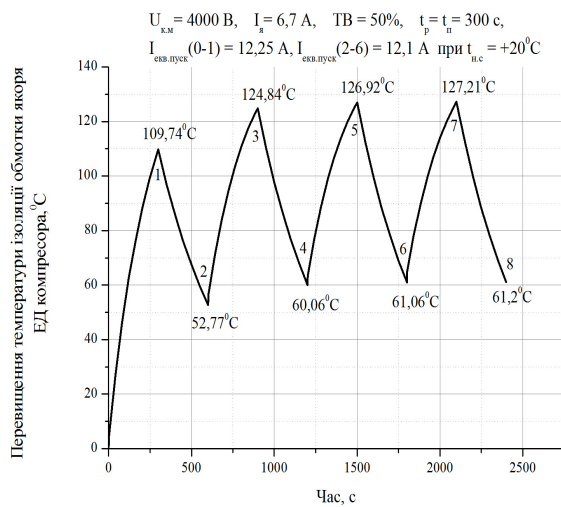


Рис. 2. Діаграма нагрівання ізоляції обмотки якоря ЕД ДК-406 (409) під час пуску і роботи у повторно-короткочасному режимі при напрузі в контактній мережі 4 кВ

При підвищенні напруги в контактній мережі до 4 кВ, усталене значення струму після закінчення перехідного процесу буде складати 6,7 А, що в 1,44 рази більше паспортного номінального струму 4,65 А. Саме цей струм буде впливати на нагрівання ізоляції при роботі компресора в повторно-короткочасному режимі. Еквівалентний струм при цьому складає 12,25 А. Значення максимальної кутової швид-

кості складає  $129,57 \text{ с}^{-1}$ , що відповідає частоті обертання вала 1237,3 об/хв.

Клас ізоляції В, що застосовується в електродвигунах ДК-406 (409) розрахований на допустиму температуру ( $\tau = 120^\circ\text{С}$ ), яка визначається втратами в машині. Якщо реальна температура перевищить допустиму для даного класу ізоляції, то ізоляція якірної обмотки буде старіти значно інтенсивніше. В результаті може виникнути пробій ізоляції і відповідно позачерговий ремонт двигуна.

Проведені дослідження показали, що зниження напруги живлячої мережі до 2400 В не викличе небезпечного перегрівання ізоляції обмотки якоря, а підвищення напруги до 4000 В може спричинити нагрівання ізоляції до небезпечного значення.

Для проведення досліджень впливу зміни значення ТВ, яке викликане випадковими факторами, що не піддаються статистичному дослідженню, на нагрівання ізоляції було штучно задано ці значення ТВ з 60 до 80 % при напрузі в контактній мережі 3 кВ. При цьому встановлено наступне:

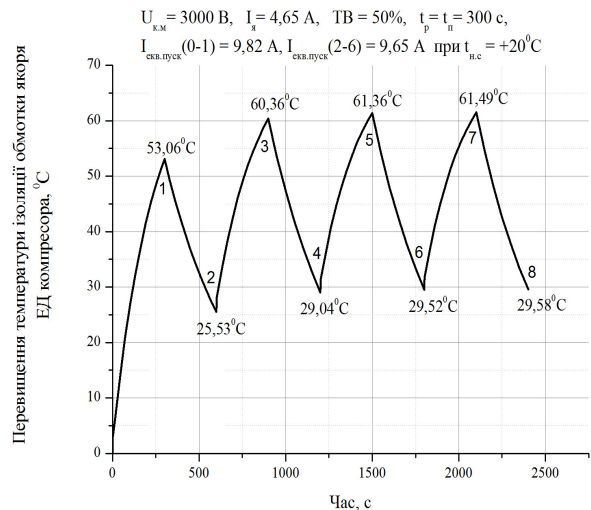


Рис. 3. Діаграма нагрівання ізоляції обмотки якоря ЕД ДК-406 (409) під час пуску і роботи у повторно-короткочасному режимі при напрузі в контактній мережі 3 кВ, ТВ = 50 %

При роботі в номінальному режимі максимальне перевищення температури складає  $\tau_{\max} = 61,49^\circ\text{С}$ , а мінімальне  $\tau_{\min} = 29,58^\circ\text{С}$ .

Штучно збільшивши значення тривалості ввімкнення на 10 % (ТВ = 60 %), після 3...4 циклів усталене максимальне значення температури нагрівання ізоляції обмотки якоря складає  $\tau_{\max} = 65,7^\circ\text{С}$ , а мінімальне  $\tau_{\min} = 36,59^\circ\text{С}$ .

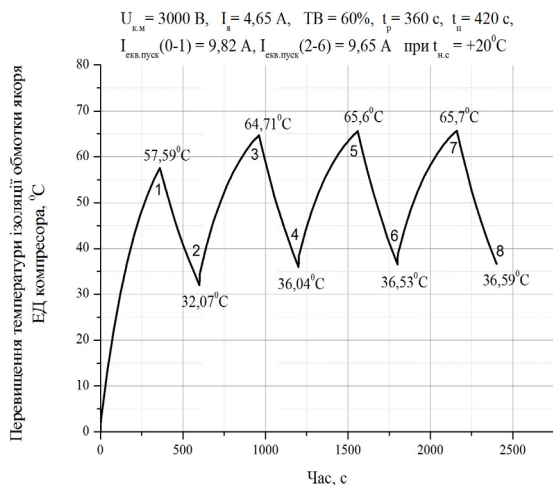


Рис. 4. Діаграма нагрівання ізоляції обмотки якоря ЕД ДК-406 (409) під час пуску і роботи при напрузі в контактній мережі 3 кВ та  $TВ = 60\%$

При збільшенні  $TВ$  на 10 % перевищення температури збільшилось на  $\Delta t_{max} = 4,21^\circ\text{С}$  та  $\Delta t_{min} = 7^\circ\text{С}$  в порівнянні зі значеннями в номінальному режимі роботи.

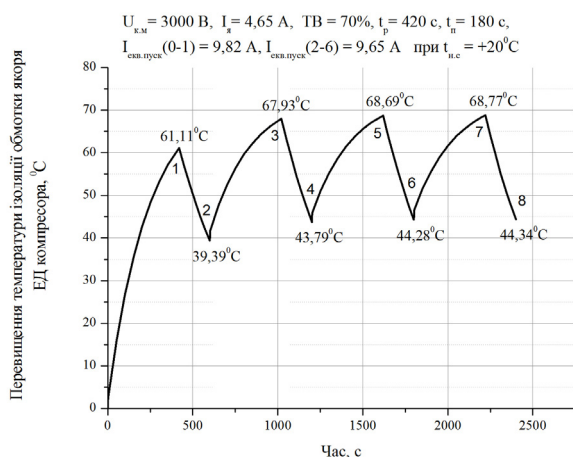


Рис. 5. Діаграма нагрівання ізоляції обмотки якоря ЕД ДК-406 (409) під час пуску і роботи при напрузі в контактній мережі 3 кВ та  $TВ = 70\%$

Штучно збільшивши значення тривалості ввімкнення на 20 % ( $TВ = 70\%$ ), після 3...4 циклів усталене максимальне значення температури нагрівання ізоляції обмотки якоря складає  $\tau_{max} = 68,77^\circ\text{С}$ , а мінімальне  $\tau_{min} = 44,34^\circ\text{С}$ .

При збільшенні  $TВ$  на 20 % перевищення температури збільшилось на  $\Delta t_{max} = 7,28^\circ\text{С}$  та  $\Delta t_{min} = 14,76^\circ\text{С}$  в порівнянні зі значеннями в номінальному режимі роботи.

Штучно збільшивши значення тривалості ввімкнення на 30 % ( $TВ = 80\%$ ), після 3...4 циклів усталене максимальне значення температури нагрівання ізоляції обмотки якоря складає  $\tau_{max} = 71^\circ\text{С}$ , а мінімальне  $\tau_{min} = 52,98^\circ\text{С}$ .

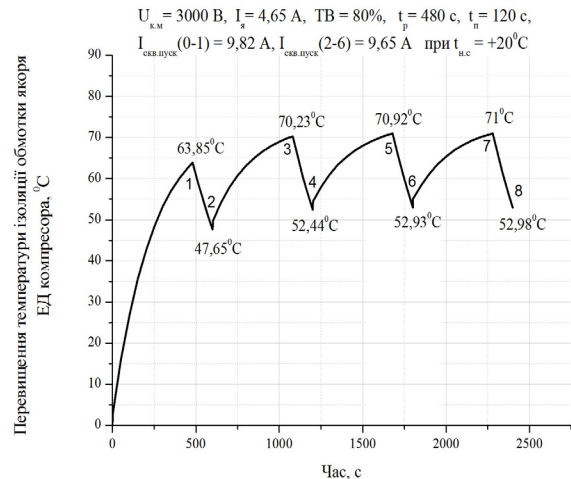


Рис. 6. Діаграма нагрівання ізоляції обмотки якоря ЕД ДК-406 (409) під час пуску і роботи при напрузі в контактній мережі 3 кВ та  $TВ = 80\%$

При збільшенні  $TВ$  на 20 % перевищення температури збільшилось на  $\Delta t_{max} = 9,51^\circ\text{С}$  та  $\Delta t_{min} = 23,4^\circ\text{С}$  порівняно зі значеннями в номінальному режимі роботи.

З рис. 4–6 видно, що при штучно збільшеному значенні  $TВ$  час роботи електродвигуна компресора збільшується (при цьому ізоляція обмотки якоря нагрівається), тоді як час паузи відповідно зменшується (при цьому ізоляція обмотки якоря охолоджується), що призводить до більшого нагрівання обмотки якоря ЕД порівняно з номінальним режимом роботи.

Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок: система «мотор–компресор» на електропоїздах ЭР-1, ЭР-2 працює зі значними перевантаженнями по струму, що є основною причиною пошкодження ізоляції і як наслідок передчасного виходу машини з ладу. З урахуванням вищесказаного необхідне суттєве підвищення якості захисту кіл двигунів компресорів, а також заміна ізоляції класу В на клас F.

## БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Вплив умов експлуатації на надійність двигунів компресорів електропоїздів постійного струму [Текст] / Л. В. Дубинець [та ін.] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 18. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 29–31.
2. Математична модель електропривода поршневого компресора з двигуном ДК-406 (409) електропоїзда EP-2 [Текст] / Л. В. Дубинець [та ін.] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 17. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 64–65.

3. Краснов, Р. В. Дослідження перегріву електродвигуна (ДК-409) компресора (ЕК-7Б) електропоїзду постійного струму (ЭР-1, ЭР-2) за допомогою теплової схеми заміщення [Текст] / Р. В. Краснов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – Вип. 36. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 81–85.
4. Дубинець, Л. В. Дослідження перехідних процесів при пускові двигуна компресора електропоїзда ЕР-1 (ЕР-2) [Текст] / Л. В. Дубинець, Р. В. Краснов, Д. В. Устименко // Вестник нац. техн. ун-га ХПИ. – 2008. – № 7. – С. 56–61.
5. Правила технічної експлуатації залізниць [Текст] : Наказ Мінтрансу України № 411 від 20.12.96 : Зареєстр. у Мінності України 25 лютого 1997 р. за № 50/1854.
6. Проектирование тяговых электрических машин [Текст] / М. Д. Находкин [и др.]; под ред. М. Д. Находкина. – М.: Транспорт, 1976. – 623 с.

Надійшла до редколегії 30.03.2012.  
Прийнята до друку 07.04.2012.

Д. В. УСТИМЕНКО, Р. В. КРАСНОВ, А. В. МАЗУР

### **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ НА СТЕПЕНЬ НАГРЕВА ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТКИ ЯКОРЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА**

Статья посвящена вопросу исследования факторов, которые влияют на смену режима работы электродвигателя компрессора, которые в свою очередь влияют на степень нагревания изоляции обмотки якоря ЭД.

*Ключевые слова:* электродвигатель, поршневой компрессор, длительность включения, эквивалентный ток, тепловые процессы, перегрев изоляции, защита

D. V. USTIMENKO, R. V. KRASNOV, A. V. MAZUR

### **ANALYSIS OF INFLUENCE OF CHANGE OF OFFICE HOURS ON DEGREE OF HEATING OF ISOLATION OF PUTTEE OF ANCHOR OF ELECTRIC MOTOR OF PISTON COMPRESSOR**

The article is devoted the question of research of factors which influence on changing of the mode of operations of electric motor of compressor, which in same queue influence on the degree of heating of isolation of winding of anchor ED.

*Keywords:* electric motor, piston compressor, duration of including, equivalent current, thermal processes, over-heating isolations, defense