

Bibliography (transliterated): 1. Balakleets Y. A., Dolhikh, P. P., Pohorelov, V. Ya., Filippov, V. S., Shamrin, A. V., Sirota A. A. (2008). Proyzvodstvo i ekspluatatsyya tsentrobezhnolytykh prokatnykh valkov LHNPK. Zhurnal «Stal», 1, 45-47. 2. Budagyants, N. A., Zhizhkina, N. A., Sirota, D. A., Kondratenko, V. I., Saushkin V. P. (2000). High-wear-resistant cast iron for rolls of hot rolling. Proceedings of III international symposium on tribo-fatigue. Beijing: Hunan University Press, 236-239. 3. Kozlov N. Y. (1980). Mekhanicheskaya obrabotka chuhunnykh prokatnykh valkov. Metallurhiya, 80. 4. Hunn, H. S. Sokolov, V. E., Oharkov, N. N. (1983). Obrabotka prokatnykh valkov. Metallurhiya, 112. 5. Budah'yants, N. A., Zhizhkina, N. A., Kondratenko, V. Y., Dyachenko, Yu. V., Balakleets, Y. A. (2005). Proizvodstvo i ekspluatatsiya listoprokatnykh valkov s rabochim sloem iz vysokolehirovannykh materialov. Trudy shestoho konhressa prokatchykov. II tom. Moskva: MOO «Obedinenie prokatchykov». 6. Pykhovskiy, E. S. Havrysh, A. P., Hryshchenk, E. Yu. (1983). Obrabotka vystokoprochnykh materialov. Kyev: «Tekhnika», 134. 7. Zhizhkina, N. (2012). The researches of influence of thermal treatment to structure and properties of core of rolls with layer of high alloyed cast iron. TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture (Poland), 12, 3, 169-173. 8. Zhizhkina N. A. (2011). Proizvodstvo tsentrobezhnykh valkov s vysokolehirovannym rabochim sloem: monohrafiya. Luhansk: «Noulidzh», 167. 9. Instrumenty iz sverkhтвердыkh materialov / pod. red. N. V. Novykova i S. A. Klimenko. – Izd. 2-e, pererab. i dop. – Moscow.: Mashynostroenie, 2014. – 608p. 10. Trenev D. (2007). Obrabotka chuhuna rezanyem. Oborudovanie.

Поступила (received) 12.02.2015

УДК 621.311

І. Д. ГАЛУЩАК, канд. техн. наук, доц., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

П. О. КУРЛЯК, канд. техн. наук, доц., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ОБ'ЄКТІВ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

Під час експлуатації газотурбінних компресорних систем магістральних газопроводів в електричних мережах виникають різного роду перенапруги, які створюють негативний вплив на електрообладнання і знижують його надійність та ефективність роботи. Досліджено способи забезпечення електромагнітної сумісності електротехнічних комплексів газотурбінних компресорних систем магістральних газопроводів при впровадженні вакуумних вимикачів, а також підвищення надійності і якості зовнішнього електропостачання.

Ключові слова: надійність, ефективність, компресорні станції, магістральні газопроводи, електромагнітна сумісність, електромагнітні перешкоди.

Вступ. Транспортування газу від місць його видобування до пунктів розподілу і споживання здійснюється магістральними газопроводами. Система газопроводів охоплює територію всієї України і є складовою трансєвроазійської системи. Основними технологічними об'єктами магістральних газопроводів (МГ) є компресорні станції (КС), які обладнані поршневыми або відцентровими компресорами. Під час експлуатації газотурбінних КС МГ в електричних мережах виникають різного роду перенапруги, які створюють негативний вплив на електрообладнання і знижують його надійність та ефективність роботи.

© І. Д. ГАЛУЩАК, П. О. КУРЛЯК, 2015

Мета роботи. Метою роботи є дослідження способів забезпечення електромагнітної сумісності електротехнічних комплексів газотурбінних компресорних станцій магістральних газопроводів при впровадженні вакуумних вимикачів а також підвищення надійності і якості зовнішнього електропостачання.

Обговорення результатів. За технологічним принципом КС діляться на головні, які розміщуються в безпосередній близькості від родовища газу, проміжні, спеціальні і пересувні. При великому пластовому тиску газ на початковій ділянці газопроводу рухається під цим тиском. Якщо пластовий тиск невеликий або знизився, споруджується головна КС, а на відстані 110-150 км за нею – проміжні КС.

На КС для нагнітання газу встановлюються поршневі або відцентрові компресори. Поршневі компресори використовують при добовій подачі до 8 млн. м³ газу, а відцентрові - при більшій подачі. Найбільш розповсюдженими видами двигунів для приводу відцентрових нагнітачів у даний час є газові турбіни та електродвигуни. Найширше використання на раніше збудованих КС знайшли нагнітачі 280-11-1, 280-11-2, 280-11-6, 280-12-2, 280-12-4, 280-12-7.

Застосовують і більш продуктивні нагнітачі 370-17-1, 370-18-1, 520-12-1 з подачею при одиночній роботі відповідно 289, 370 і 486 м³/хв. Нагнітачі 370-18-2 продуктивністю 370 м³/хв із частотою обертання 4800 об/хв та потужністю 9900 кВт обладнані електроприводним двигуном СТД-12500-2. Нагнітачі 235-21-3 продуктивністю 228 м³/хв із частотою обертання 5000 об/хв та потужністю 10000 кВт обладнані електроприводним двигуном СТД-12500. На надпотужних газопроводах використовують нагнітачі 650-22-2 та Н-16-76-1,25 з подачею 580 та 664 м³/хв. Їх споживана потужність становить 14800 і 25000 кВт при 6410 і 3700 об/хв відповідно.

Для КС МГ розроблено нормальний ряд електродвигунів 2500-25000 кВт (табл. 1).

Таблиця 1 – Технічні дані електродвигунів приводу компресорів

Двигун	Номінальна потужність, кВт	Номінальна напруга, кВ	Частота обертання, об/хв	ККД	Кратність пускового струму	Кратність пускового моменту
A3-4500-1500	4500	6	1480	0,95	4,8	0,85
СДСЗ-4500-1500	4500	6	1500	0,96		
СТМ-4000-2	4000	6	3000	0,969	7,6	2,4
СТД-4000-2	4000	6(10)	3000	0,975	7,22	2,07
СТД-5000-2	5000	6(10)	3000	0,976	6,69	1,92
СТД-6300-2	6300	6(10)	3000	0,975	6,28	1,62
СТД-8000-2	8000	6(10)	3000	0,979	6,93	1,76
СТД- 10000-2	10000	6(10)	3000	0,978	8,1	2,06
СТД- 12500-2	12500	6(10)	3000	0,979	8,86	2,24
Для двигуна A3-4500-1500 $\cos\varphi=0.87$, для інших - $\cos\varphi=0.9$						

Електропостачання КС з електроприводом, потужність яких доходить до 100 МВт і більше, здійснюється від енергосистеми за допомогою повітряних ЛЕП напругою 110 і 220 кВ. До КС підводяться дві лінії, які прокладені на окремих опорах і отримують живлення від різних, незалежних секцій розподільчого пристрою або від різних районних підстанцій. Споживачі КС отримують живлення від знижувальної підстанції 110 або 220 кВ, яка споруджується поряд з КС. Знижувальні підстанції вибирають або тупикового типу, або районного.

На підстанції тупикового типу встановлюється не менше двох силових трансформаторів 110-220/6-10 кВ потужністю 15-63 МВА, які забезпечують навантаження КС і 100 % резервування. Використовують також схему блоку "лінія-трансформатор". Для зниження струмів КЗ іноді передбачають роздільну роботу трансформаторів – один в роботі, другий в резерві. У цьому випадку передбачають АВР на стороні 6(10) кВ, а на повітряних ЛЕП - АПВ. В окремих випадках для зменшення струмів КЗ використовують трансформатори із розщепленими обмотками. Тоді передбачаються чотири секції шин ЗРП-6(10) кВ [1, 2].

Електродвигуни (ЕД) КС працюють в умовах, що характеризуються електродинамічними діями при пусках, в результаті яких відбувається достатньо швидкий знос ізоляції. Дефекти в ізоляції розвиваються досить швидко, знижуючи її електричну міцність до такої низької величини, що пробій може наступити в режимі нормальної експлуатації або при перенапругах, що незначно перевищують робочу напругу [3].

При аналізі надійності високовольтних ЕД і їх пошкодженості в мережах КС, наводяться різні дані про питомі характеристики пошкодженості. Середня питома річна пошкодженість ЕД складає 4 % від загального числа встановлених двигунів. Залежно від типу двигуна і специфіки його експлуатації цей показник лежить в межах від 3 до 17,5 % в рік.

Основною причиною виходу з ладу ЕД є пошкодження обмотки статора – 75 – 85 % всіх випадків. У 50 – 70 % випадків це пошкодження виткової, корпусної і міжфазної ізоляції. Значна частина пошкоджень ЕД обумовлена електричним пробоем ізоляції в результаті її старіння і дії на обмотку статора перенапруг [4].

Критерії електромагнітної сумісності (ЕМС) – граничні умови у вигляді характеристик перешкодосприйнятливості, які характеризують здатність електроустановок КС протистояти названій перешкодоемісії перенапруг. Методичні положення формування граничних умов або критерії забезпечення ЕМС і показники ЕМС електроустановок мереж електропостачання КС часто визначають як рівні перешкодостійкості і несприйнятливості. Вони регламентують потік електромагнітних перешкод (ЕМП) і здатність електроустановок протистояти можливим їм. Всі електроустановки характеризуються своїми власними об'єктивними рівнями несприйнятливості, які в більшості випадків приблизно оцінюють нормативними допустимими рівнями ЕМС.

Небезпечні для ізоляції ЕД КС імпульсні перенапруги можуть виникати при їх комутаціях вакуумними вимикачами і при однофазних замиканнях. Вони мають високу амплітуду і достатньо крутий фронт, тому представляють небезпеку, перш за все, для виткової ізоляції. Отже, питання про визначення граничних умов по цих ЕМП, по суті, пов'язане з нормуванням величини і форми випробувальної напруги, тому для оцінки імпульсної міцності ізоляції обертових машин, можна

використовувати лише окремі рекомендовані значення імпульсних випробувальних напруг і зарубіжні стандарти Інституту інженерів по електротехніці і електроніці, Міжнародної Електротехнічної Комісії і Організації виробників електроенергії [5]. Їх можна використовувати в першому наближенні для визначення умов, при яких і можливе нормальне функціонування ЕД КС.

Ключовий момент в вирішенні всіх задач ЕМС це – порівняння енергетичних можливостей ЕМП, що впливають на електрообладнання КС, з їх здатністю протистояти цим діям за рахунок власної внутрішньої стійкості до ЕМП і зовнішнього захисту від них. Це положення можна сформулювати у вигляді:

$$ЕМП_i(X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n) \rightarrow ГР_k(X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n); \quad (1)$$

$i = 1, \dots, \infty; k = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n.$

де $ЕМП_i(X)$ – узагальнена енергетична характеристика ЕМП (напруга, струм, потужність, час дії, температура, тиск і ін.), що характеризує електромагнітні дії на конкретну електроустановку – електродвигун;

$ГР_k(X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n)$ – k -те граничне значення на числовій осі однієї змінної – параметра X_1 , k -та гранична крива на площині двох змінних – параметрів X_1, X_2 , k -та гранична поверхня в n -мірному (три і більше) просторі змінних — параметрів $X_1, X_2, X_3, \dots, X_j, \dots, X_n$.

Строго кажучи, кожна конкретна k -та гранична умова ($k = 1, \dots, m$) приблизно визначає дискретний перехід досліджуваного об'єкта одного фізичного стану в інший в результаті дії ЕМП. Насправді за час життя конкретної електроустановки численні і різноманітні ЕМП послідовно з кумулятивним накопиченням погіршують її внутрішню здатність долати їх наслідки, зменшуючи внутрішню стійкість [6].

Число m об'єктивно визначається можливими станами об'єкта електричної мережі після дій ЕМП, кожна з яких, залежно від енергетичної насиченості, може привести до наступних наслідків:

1) збереження робочого стану (наприклад, післяаварійний режим з відхиленням напруги у споживача менше допустимого);

2) перерва функціонування в результаті дії ЕМП і самоповернення в робочий стан (наприклад, зупинка і самозапуск електродвигуна після ліквідації пошкодження, пов'язаного з короткочасним відключенням живлення);

3) перерва функціонування в результаті дії ЕМП і повернення в робочий стан після втручання персоналу або інших зовнішніх систем (наприклад, автоматичне повторне включення повітряної ЛЕП після грозового перебиття ізоляції і ін.);

4) припинення функціонування в результаті дії ЕМП і повернення в робочий стан після ремонту і заміни непрацездатних частин об'єкта (наприклад, вихід з ладу однієї фази трифазного комплексу захисних апаратів);

5) припинення функціонування в результаті дії ЕМП з частковим або повним руйнуванням об'єкта, що робить неможливою його подальшу роботу взагалі (прикладитаких подій настільки численні і часті, що було б недоцільно виділити якусь із них).

Граничні умови визначаються при переході від одного з названих станів до

іншого при зміні (в більшості випадків збільшенні) значень енергетичних параметрів $X_1, X_2, \dots, X_j \dots, X_n$. В більшості випадків граничні умови можна визначити тільки приблизно (директивно), тобто

$$GP_k(X) \rightarrow GP_{np}(X_{np}) \quad (2)$$

де вектори параметрів X і X_{np} можуть не співпадати. Аналогічно безліч $EMPI_i(X)$ дій на досліджуваній об'єкт (і навпаки) замінюється при моделюванні ЕМС деяким наближеним $EMPI_{np}(X_{np})$ регламентованим або стандартизованим дією

$$EMPI_{np}(X) \rightarrow EMPI(X). \quad (3)$$

Вектори параметрів X і X_{np} (у виразах 2, 3) можуть не співпадати у кожному конкретному випадку як по поточних значеннях, так і по кількості. Допустимість замін (вирази 2, 3) повинна бути обґрунтована статистичною адекватністю енергії дій $EMPI_i$ і $EMPI_{np}$, адекватністю наслідків з погляду вироблення технологічних ресурсів – електромагнітної стійкості досліджуваного об'єкта і ін.

Системи живлення в енергопостачанні перекачувальних станцій різного призначення, а також КС на магістральних газопроводах мають близьку структуру, оскільки забезпечують, в основному, живлення ЕД, використовуваних у відповідному технологічному процесі. Проте призначення мережі енергопостачання названих об'єктів обумовлює деякі особливості в їх компоновці, що приводить до необхідності детальнішого аналізу ЕМП.

ЕМП, перш за все, перенапруги, що впливають на ізоляцію обладнання КС можна поділити на два основні види: локальні, які виникають при комутаціях приєднань з двигунами, що діють в основному тільки в межах цих приєднань; глобальні, що виникають при однофазних коротких замиканнях (ОДЗ), охоплюючи все електрообладнання мережі.

Перенапруги першого виду залежать головним чином від параметрів приєднань з двигунами – від протяжності кабелів і потужності двигунів. Перенапруги другого виду істотно пов'язані з режимом заземлення нейтралі мережі. Тому забезпечення надійної експлуатації електрообладнання при ОДЗ великою мірою залежить від складності мережі і наявності або відсутності резервного живлення електроустановок КС.

В схемі з двома повітряними лініями ПЛ-1 і ПЛ-2 6 або 10 кВ живлять відповідні секції (I і II) розподільного пристрою. Далі від кожної із згаданих секцій одержує живлення ряд електродвигунів М1 – М6 і трансформатори власних потреб Т1 і Т2.

Звичайно на секціях 6(10) кВ для захисту від грозових перенапруг встановлюються грозозахисні вентильні розрядники відповідних груп згідно ГОСТ. У схемі не передбачені засоби захисту від внутрішніх перенапруг як з боку ВН (35, 10 або 6 кВ), так і з боку НН (0,4 кВ). Разом з тим, в мережах даних класів напруги, окрім імпульсних перенапруг, можуть мати місце значної величини комутаційні, дугові і ферорезонансні перенапруги [7].

На промислових КС найбільше поширення набули асинхронні короткозамкнені і синхронні двигуни на напругах 6 і 10 кВ потужністю 160-220 кВт у виконанні, що продувається під надмірним тиском.

Технологічні процеси на насосних та компресорних станціях пред'являють високі вимоги до надійності встановленого обладнання і через названі вище причини їх схеми електропостачання мають свою відмінну особливість – ретельне резервування з допомогою не тільки додаткового силового резервного трансформатора, але і незалежного джерела живлення. Для цього в схемах електропостачання передбачаються секції надійного живлення, що містять в своєму складі автономні джерела живлення (акумулятори і дизель-генераторні станції) і приєднання, в завдання яких входить здійснення планового і аварійного резервування [9].

На основі докладного аналізу проблем підвищення надійності і забезпечення ЕМС електрообладнання мереж КС можна констатувати, що ряд теоретичних і технічних завдань в цьому напрямі вичерпних рішень не має.

Перенапруги, які виникають при однофазних дугових замиканнях, що охоплюють все електрообладнання КС, підключене до секції, істотно залежать від режиму заземлення нейтральної точки. На кратності комутаційних перенапруг, зона обхвату яких обмежена комутуваним приєднанням, режим заземлення нейтралі мережі практично не робить впливу.

Забезпечення ЕМС електротехнологічних комплексів газотурбінних КС МГ при впровадженні вакуумних вимикачів а також підвищення надійності і якості зовнішнього електропостачання, вимагає вирішення сформульованих задач, котре повинне спиратися на розумне поєднання аналізу даних експлуатації, експериментальних досліджень і математичного моделювання. При цьому безперечно стає необхідність ускладнення математичних моделей, значною мірою мотивована, з одного боку, помітним збільшенням кількості пошкоджень електрообладнання. З іншого боку, це диктується постійно зростаючими можливостями обчислювальної техніки і спеціального дослідницького програмного забезпечення [10].

Висновки

1. Негативний вплив на надійність та ефективність роботи електрообладнання КС створюють ЕМП у вигляді перенапруг: грозових, комутаційних та перенапруг, що виникають при однофазних коротких замиканнях.

2. Комутаційні перенапруги залежать головним чином від параметрів приєднань з двигунами – від протяжності кабелів і потужності двигунів.

3. Перенапруги, що виникають при однофазних коротких замиканнях істотно пов'язані з режимом заземлення нейтралі мережі.

4. На основі докладного аналізу проблем підвищення надійності і забезпечення ЕМС електрообладнання мереж КС можна констатувати, що ряд теоретичних і технічних завдань в цьому напрямі вичерпних рішень не має.

Список літератури: 1. *Галушак, І.Д.* Розроблення методів зниження втрат електричної енергії на трансформаторних підстанціях нафтових і газових промислів [Текст] / *І. Д. Галушак* // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2014.–№ 1(36). – С. 74-80. 2. *Галушак, І. Д.* Оптимізація режимів роботи на трансформаторних підстанціях нафтових і газових промислів [Текст] / *І. Д. Галушак, В. В. Катеринок* // Збірник наукових праць I Міжнародної

науково-технічної конференції викладачів, аспірантів і студентів. м. Донецьк, 2013.– С.158-159 **3. Костишин, В. С.** Дослідження енергоефективності режимів роботи типових електроприводів нафтогазової промисловості [Текст] / В. С. Костишин, П.О. Курляк // Збірник праць проблемно-наукової міжгалузевої конференції «Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління», м. Бучач, 2010. – С.378–381. **4. Курляк, П. О.** Діагностика несправностей в асинхронних двигунах насосних агрегатів на ранній стадії їх виникнення [Текст]/ П.О. Курляк //Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2014.– № 1 (16) .– С. 119-123. **5.** Патент RU 2 297 703 С1 (Российская Федерация). Устройство для защиты от замыканий на землю в сетях 3–10 кВ / А. И. Шалин, А. М. Хабаров // МПК H02H 3/16 (2006.01), H02H 7/26 (2006.01) – Опубл. в Бюллетене № 11, 2007 г **6. Шалин, А. И.** Защита от замыканий на землю для пучков кабелей [Текст] / А. И. Шалин, А. М. Хабаров // Труды четвертой всероссийской научно-технической конференции «Ограничение перенапряжений. Режимы заземления нейтрали. Электрооборудование сетей 6–35 кВ». – Новосибирск, 2006. – С. 138–148. **7. Кискачи, В. М.** Схемы подключения защиты и сигнализации однофазных замыканий при параллельных кабелях [Текст] В. М. Кискачи // Электричество. – 1972. – № 1. – С. 13–17. **8. Федосеев, А. М.** Релейная защита электрических систем [Текст] / А. М. Федосеев // Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1976. – 560 с. **9. Костишин, В. С.** Дослідження ефективності перетворення енергії в електроприводних турбомашинах [Текст] / В. С. Костишин, П. О. Курляк // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». – м.Тернопіль, 2014. – С. 252-253. **10. Костишин, В. С.** Створення комп'ютерно-орієнтованих моделей електроприводних агрегатів нафтогазової промисловості [Текст] / В. С. Костишин, П. О. Курляк // Нафтогазова енергетика. – 2007.– №1(2). – С.50–56.

Bibliography (transliterated): **1. Galushchak, I. D.** (2014). Development of methods to reduce electricity losses in transformer substations oil and gas fields. Scientific Bulletin of the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Vol.1(36), 74-80 **2. Galushcha, I. D., Katerinyuk, V. V** (2013). Optimization of operation at transformer oil and gas fields. International scientific and technical conference of teachers and students, 158-159. **3. Kostyshyn, V. S., Kurlyak, P. O.** (2010). The study of energy efficiency modes typical electric oil and gas industry. Collection of works of a scientific problem-branch conference, 378–381. **4. Kurlyak, P. O.** (2014). Fault diagnosis in induction motors of pumping units in the early stages of their occurrence. Scientific papers of Donetsk National Technical University, Vol. 1 (16), 119-123. **5. Shalin, A. I, Habarov, A. M.** (2007). Patent RU 2297703 C1 (Russian Federation). The device for protection against ground faults in networks of 3-10 kV. **6. Shalin, A. I., Habarov, A. M.** (2006). Protection against earth fault for cables bundles. Proceedings of the Fourth All-Russian Scientific and Technical Conference "Overvoltage limitation. Neutral grounding modes. Electrical equipment 6-35 kV networks", 138- 148. **7. Kiskachi, V. M.** (1972). Connection diagrams protection and alarm-phase circuits with parallel cables. Electricity Vol. 2, 13-17. **8. Fedoseyev, A. M.** (1976). Relay protection of electrical systems. Moscow Textbook for universities, 560. **9. Kostyshyn, V. S., Kurlyak, P. O.** (2014). Study of energy conversion efficiency of electrically turbomachines. Abstracts of the International scientific and technical conference of young scientists and students, 252-253. **10. Kostyshyn, V. S., Kurlyak, P. O.** (2007). Creating a computer-based models of electrically aggregates Oil and Gas Industry. Oil and Gas power engineering, Vol. №1(2), 50–56.

Надійшла (received) 21.02.2015