

Залужна Галина Володимирівна, канд. фіз.-мат. наук, доцент; тел. (+38)0501763623; e-mail: zaluzhna_emcs@uipa.edu.ua, ORCID 0000-0003-4810-9737

Пономарьов Петро Євгенович, канд. техн. наук, доцент; тел. (+38)0959354150; e-mail: ponomarov_emcs@uipa.edu.ua, ORCID 0000-0001-8633-3145

Романуша Володимир Олександрович, канд. фіз.-мат. наук, доц., доцент; тел. (+38)0952265488; e-mail: V.Romanusha_emcs@uipa.edu.ua, ORCID 0000-0002-8009-9455

Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут Української інженерно-педагогічної академії (м. Бахмут), вул. Університетська, 16, Харків, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ СИЛІКОНОВОГО ПОКРИТТЯ ХОЛОДНОГО ЗАТВЕРДІННЯ НА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТАХ В УКРАЇНІ

Анотація. Вибір профілактичних заходів як одного з напрямків забезпечення надійності роботи електричного обладнання в районах із забрудненою атмосферою спирається, в першу чергу, на досвід, отриманий в аналогічних умовах. Одним з таких заходів є нанесення на ізоляцію RTV покриття (силіконового покриття холодного затвердіння). У статті проаналізовано останні публікації щодо розробок в напрямку нанесення RTV покриття. Узагальнено відомості про застосування RTV покриття в Україні. Наведені рекомендації для поліпшення зручності і продуктивності нанесення покриття в «польових умовах» (тобто, на діючих енергетичних об'єктах), які перевірені на власному досвіді. Означені фактори, що стримують нанесення RTV покриття на лінійну ізоляцію. Доведена ефективність використання RTV покриття в районах з як добре розчинними, так і з цементоподібними забрудненнями.

Ключові слова: відкриті розподільчі пристрої, силіконове покриття холодного затвердіння, гідрофобне покриття, полімерні ізолятори.

Zaluzhna G.V., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor, phone: (+38)0501763623; e-mail: zaluzhna_emcs@uipa.edu.ua, ORCID 0000-0003-4810-9737

Ponomarov P.E., candidate technical of Sciences, associate professor, phone: (+38)0959354150; e-mail: ponomarov_emcs@uipa.edu.ua, ORCID 0000-0001-8633-3145

Romanusha V.O., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, associate professor, phone: (+38)0952265488; e-mail: V.Romanusha_emcs@uipa.edu.ua, ORCID 0000-0002-8009-9455

Educational scientific professional pedagogical Institute Ukrainian Engineering Pedagogics Academy (t. Bakhmut), Kharkiv, Ukraine

APPLICATION OF COLD-CURING SILICONE COATING ON ENERGY FACILITIES IN UKRAINE

Abstract. The choice of preventive measures as one of the ways to ensure the reliability of electrical equipment in areas with a polluted atmosphere is based, first of all, on the experience gained in similar conditions. One of these measures is applying an RTV coating (a cold-curing silicone coating) to the insulation. The article analyzes the latest publications on developments in the direction of applying RTV coating. Summarized information on the use of RTV coating in Ukraine. Recommendations for improving the convenience and productivity of coating in "field conditions" (that is, at active energy facilities) are given, which have been tested on our own experience. Factors inhibiting the application of RTV coating on linear insulation are identified. The effectiveness of using RTV coating in areas with both highly soluble and cement-like contaminants has been proven.

Keywords: open distribution devices, cold curing silicone coating, hydrophobic coating, polymer insulators.

Постановка проблеми. Одними з головних ознак успішності роботи електроенергетичної системи будь-якої країни у сучасному світі є надійність та ефективність. Загально відомо, що надійність складної системи з багатьма взаємозв'язками залежить від надійності її окремих елементів. Так, наприклад, накопичення бруду на поверхні зовнішньої ізоляції роз'єднувачів відкритих розподільчих пристроїв (ВРП) при зволоженні атмосферними опадами може стати причиною виникнення низки подій, які можуть привести до значних збитків.

Зволоження шару забруднення, особливо при наявності в ньому речовин з гарною електропровідністю, сприяє зниженню напруги перекриття ізоляції вздовж її поверхні [1]. Виникнення такого перекриття, що є фактично коротким замиканням, супроводжується зростанням протікаючих струмів і падінням напруги, яке може викликати у електрично зв'язаних споживачів відключення електрообладнання або порушення параметрів режиму його роботи. Це в свою чергу з великою вірогідністю позначиться на протіканні виробничих процесів і, як наслідок, в отриманні матеріальних збитків.

Дієвими заходами з попередження подібної ситуації є проведення робіт щодо очищення поверхні зовнішньої ізоляції від накопиченого бруду або нанесення на ізоляційну поверхню покриттів для надання їй гідрофобних властивостей. Для кожного з означених напрямків розроблено немало різних методів проведення таких робіт з використанням різного обладнання, матеріалів і речовин. Тому особам, що відповідають за надійність роботи ВРП, при обранні того чи іншого методу слід звернути увагу на ефективність його використання. Слід розуміти, що ефективність в загальному визначенні означає відношення корисного ефекту (результату) до витрат на його одержання.

Чисельною оцінкою робіт щодо очищення поверхні зовнішньої ізоляції найчастіше виступає кількість часу (місяців або років) позитивного досвіду експлуатації, під яким розуміється період безаварійної роботи електрообладнання без проведення додаткових профілактичних заходів, підсилення або заміни встановлених ізоляційних конструкцій. На жаль, отримання такого досвіду вимагає багато часу і не завжди поєднується з аналізом характеристик об'єкту і умов виконання робіт, що залишається однією з проблем при впровадженні нових розробок і удосконаленні існуючих технологій проведення профілактичних заходів, спрямованих на відновлення та посилення ізоляційних характеристик зовнішньої поверхні високовольтних ізоляційних конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Позитивні результати експлуатації твердих силіконових покриттів в районах з високим ступенем забруднення атмосфери (СЗА), що були накопичені до середини 90-х років, посилили зацікавленість дослідників до силіконових компаундів холодного отвердіння (за міжнародним позначенням RTV): визначенню їх стійкості до зовнішніх впливів, удосконаленню складу з метою поліпшення експлуатаційних властивостей [2].

Лабораторними дослідженнями і спостереженнями за станом поверхні контрольних ізоляторів, встановлених на території діючих ВРП, з'ясовано, що даний тип покриттів може зберігати гідрофобні властивості поверхні протягом багатьох років. Цю властивість, крім визначеного орієнтування метилових радикалів (-СН₃) основних полімерних молекул в бік зовнішнього середовища, пов'язують з дифузією силіконових молекул низькою молекулярною вагою з об'єму шару покриття до його поверхні [3]. Отримані

результати досліджень і лабораторних випробувань склали основу розробки композиції на основі одно- або двопакувального RTV компаунду для отримання покриття з гідрофобними і гарними електроізоляційними властивостями [4].

Для ефективності застосування гідрофобних покриттів важливим фактором є швидкість його нанесення, що вимагає механізації цього процесу. Для цього найбільш підходять пневматичні розпилувачі [5]. Їх використання дозволяє отримувати покриття товщиною в межах 80-800 мкм, а також мати можливість детермінування його величини в залежності від розподілу напруженості електричного поля уздовж поверхні електроізоляційної конструкції [6].

Основними об'єктами застосування RTV покриттів, як в світі, так і в Україні, стали ВРП, що розташовані в зонах з інтенсивними промисловими забрудненнями [7]. Експлуатація на підстанціях (ПС) у промисловому районі м. Запоріжжя і ВРП 330 кВ «Зуєвської» ТЕС підтвердили, що відносно мала товщина твердого гідрофобного покриття в поєднанні з терміном експлуатації не менш 5 років дає змогу періодично відновлювати вологорозрядні характеристики зовнішньої ізоляції шляхом нанесення «нового» шару покриття поверх «старого».

Останнім часом спостерігається посилення інтересу до застосування скляних ізоляторів з силіконовим покриттям на особливо відповідальних ПЛ як альтернативи полімерних ізоляторів [8]. Перевагами цих ізоляторів є простота зовнішнього контролю (візуально) і збереження механічних характеристик після пошкодження окремих ділянок поверхні після часткових розрядів або перекриття. В Україні роботи в цьому напрямку ведуться співробітниками ЛІК (Львівської ізоляторної компанії), які продовжують розробку новітньої технології покриття ізоляторів силіконом гарячого тужавіння [9].

Постановка завдання. Для організацій і підрозділів, які займаються експлуатацією різного електрообладнання, розташованого в районах, де на його поверхні можливе накопичення забруднюючих речовин, вибір методів профілактичних заходів базується, перш за все, на інформації про позитивний досвід їх застосування в аналогічних умовах. Метою цієї статті є:

– узагальнити інформацію про застосування гідрофобного покриття холодного затвердіння на різних енергооб'єктах України, а саме, тип енергетичних об'єктів, характер забруднення атмосфери в місцях їх розташування, тривалість експлуатації, організації, що виконували роботу;

– звернути увагу на умови проведення робіт по нанесенню покриття та специфіку використання технологічного обладнання;

– поділитись власним досвідом, отриманим під час виконання таких робіт.

Виклад основного матеріалу. В Україні дослідження по застосуванню кремнійорганічних покриттів для підвищення вологорозрядної напруги ізоляторів почалися в Науково-дослідному інституті високих напруг (НДІВН, м. Слов'янськ, Донецька обл.) на початку 90-х років. І вже в 1994 – 95 роках

були проведені перші роботи по нанесенню RTV покриття на зовнішню ізоляцію діючих ПС. Першим масштабним застосуванням такого покриття слід вважати його нанесення на зовнішню ізоляцію 50% електрообладнання ВРП-330 кВ Зуєвської ТЕС у 1998 році. Одночасно з цим на інші 50% працівниками електричного цеху ТЕС було нанесено покриття кремнійорганічною пастою КПД. Після порівняння результатів експлуатації протягом року керівництво станції віддало перевагу RTV покриттю. У 1999 р. шар пасти КПД з накопиченим на його поверхні забрудненням був видалений, а на очищену поверхню ізоляції нанесене силіконове покриття [7].

Наступним важливим кроком стали нанесення і результати експлуатації RTV покриття на високовольтних вводах (підсилена ізоляція за габаритами рівня 220 кВ) закритого розподільчого пристрою (ЗРП) 110 кВ, розташованого біля аглофабрики Єнакіївського металургійного заводу, зоні особливо забрудненої атмосфери. В таких умовах гідрофобізована ізоляція повністю відпрацювала гарантований НДІВН термін експлуатації (5 років). На жаль, відновлення покриття, яке планувалось на 2003 рік, не відбулося через брак фінансування. На сьогодні роботи по нанесенню RTV покриття проведені більш ніж на 50 енергооб'єктах. Відомості про найбільш значущі з них наведені у таблиці 1.

В період з 1998 року по 2003 рік, паралельно з лабораторними дослідженнями і випробуваннями, під час проведення робіт на ВРП проходило відпрацювання технологічного процесу з нанесення покриття на основі кремнійорганічного компаунду ЕКП-102Е. Відбувався розподіл обов'язків та взаємодія між членами бригади, порівнювалась ефективність використання засобів індивідуального захисту. Результатом стала розробка галузевого нормативного документу [10].

Використання твердого силіконового покриття дозволило збільшити термін часу між проведенням планових профілактичних заходів по відновленню поверхневого опору ізоляційних конструкцій при зволоженні їх поверхні, у тому числі опадами з підвищеним вмістом легкорозчинних речовин з гарною електропровідністю. Це підтверджено результатами експлуатації на ВРП Зуєвської ТЕС. Відсутність накопичення шару забруднення привело до «самоочищення» поверхні під дією вітру і опадів, що дозволило без видалення «старого» шару покриття двічі відновлювати ізоляційні властивості поверхні накладанням нового шару покриття поверх існуючого.

У багатьох випадках використання гідрофобного покриття є найкращим рішенням при виникненні біля енергооб'єкту нового джерела забруднення атмосфери, як це сталося у випадку з Курахівською ТЕС після змін у технологічних процесах підприємства ТОВ «Електросталь», розташованого біля межі ВРП 330 кВ. Інакше було б потрібно або встановлювати нове обладнання з підсиленою ізоляцією або регулярно проводити роботи по очищенню поверхні зовнішньої ізоляції. Враховуючи обсяг таких робіт, це було б майже неможливим і дуже витратним.

Таблиця 1. Відомості про застосування RTV покриття в Україні

№ п/п	Об'єкт	Тип ізоляції*	Характер забруднення	Дата нанесення (відновлення)	Організація (виконавець робіт)
1	Зуєвська ТЕС ВРП 330 і 110 кВ	ОС	«Мокрі» викиди від градирень	1998, 1999 (2005, 2006) (2010,2011)	НДІВН
2	ЗРП Єнакіївського металургійного заводу	ОС	Викиди металургійного виробництва	1998	НДІВН
3	ПС 110/35/6 кВ «Зуєвка»	ОС	«Мокрі» викиди від градирень	1999	НДІВН
4	ПС 110/35/6 кВ «Єнакієво»	ОС	Викиди металургійного виробництва	1999	НДІВН
5	ПС 150/6 кВ«Вогентривна-1»	ОС	Викиди промислових виробництв м. Запоріжжя	2000 (2005) (2010)	НДІВН
6	ВРП 330 кВ Трипільської ТЕС	ОС	Викиди димових труб	2001	НДІВН
7	ПС 110/35 кВ «Ілліч-110»	ОС	Викиди металургійного виробництва	2001	НДІВН
8	ПС 150/6 кВ «М-1»	ОС	Викиди промислових виробництв м. Запоріжжя	2002, 2006 (2007), (2012)	НДІВН
9	ПС 150/35/6 кВ «Ф-1»			2002, 2006 (2007), (2012)	НДІВН
10	ПС 150/10 кВ «Алюмінієва»			2003-2007 (2008-2010)	НДІВН
11	ПС 150/10кВ«Електродна»			2008	НДІВН
12	ПС 150/35/6 кВ «Ф-2»			2008	НДІВН
13	Тягова ПС 150/35/6 кВ «Сартана»	ОС	Викиди металургійного виробництва	2006	НДІВН
14	ПС110/35/6кВ«Склопластика» ПС 35кВ«Пролетарій	ОС	Викиди виробництва склопластику м. Лисичанськ	2008	НДІВН
15	ВРП 330 кВ Курахівської ТЕС	ОС Л	Викиди димових труб і виробництва ТОВ «Електросталь»	2009-2011 (2017-2018)	НДІВН (ТОВ «ЛИФТ-РЕМСЕРВИС»)
16	ВРП 330кВ Слов'янської ТЕС	ОС	Викиди димових труб	2010	НДІВН
17	ПС 110/6 кВ «Електросталь»	ОС	Викиди Курахівської ТЕС і виробництва ТОВ «Електросталь»	2012	ТОВ «ПК» Реверс»
18	ПС 35 кВ Євпаторійських РЕМ	**	Сольові забруднення	2013	ТОВ «ПК» Реверс»
19	ПС 110/35/6 «Дашуківка», Черкаси обл.енерго	ОС	Викиди заводу ТОВ «Дашуківські бетоніти»	2013	ТОВ «ПК» Реверс»
20	ВРП 150 кВ ПАО «ЗАПОРОЖКОКС»:	***	Викиди промислових виробництв м. Запоріжжя	2013	ТОВ «ПК» Реверс»
21	ПС 110/35/6 кВ «Здолбунів-ЦШК» Рівне обл.енерго		Викиди цементно-шиферного комбінату	2013	ТОВ «ПК» Реверс»
22	ОАО «Азовсталь»	****	Викиди металургійного виробництва	2014	ТОВ «ПК» Реверс»
23	ОАО «Азовсталь» ПС 110 кВ АРЗ-1	ОС	Викиди металургійного виробництва	2016 (2019)	ТОВ «ЛИФТ-РЕМСЕРВИС»)
24	ОАО «Азовсталь» ПС 110 кВ (АРЗ-2, АРЗ-3, АРЗ-4, АРЗ-5, АРЗ-6,АРЗ-8, АРЗ-10,АРЗ-13,АРЗ-15, ГПП)			2019	ТОВ «ЛИФТ-РЕМСЕРВИС»)

* - ОС (опорно-стрижньова), Л (лінійна); ** - зовнішня полімерна ізоляція вакуумних вимикачів; *** - лінійні ізолятори ЛК 70/220-7; **** - демонтовані лінійні ізолятори ЛК-70/220 ЛК-160/220

RTV покриття відмінно зарекомендувало себе також в районах, де атмосфера забруднюється викидами підприємств металургійної галузі. Найбільш показним у цьому випадку є експлуатація в промисловому районі м. Запоріжжя, де розташовані такі підприємства, як алюмінієвий комбінат, металургійний комбінат «Запоріжсталь», заводи феросплавів, вогнетривких матеріалів, ПрАТ «Запоріжжюкс», ПрАТ «Український графіт». Одному з безпосередніх виконавців робіт (на той час співробітнику НДІВН) у 2002 році на підстанції (ПС) «М-1» на території комбінату «Запоріжсталь» довелось спостерігати «рудий туман» і видиме неозброєним оком випадіння блискучих часток забруднення, вірогідніше всього, графіту.

Слід відмітити, що, як відомо, навіть незначна присутність (кількість) графіту у шарі забруднення на поверхні ізоляції істотно знижує напругу її перекриття. Іншим потенційним джерелом викидів графіту є виробничі потужності ПрАТ «Український графіт», до яких найбільш наближеними є ПС «Електродна» і ПС «Алюмінієва».

Інший окремий тип забруднення становлять речовини, що здатні утворювати на поверхні забруднення цементуючого типу (рис. 1).



Рис. 1. Забруднення на поверхні розрядника демонтованого на ПС 110/35/6 кВ «Здолбунів-ЦШК»

Такі забруднення майже не змиваються під дією атмосферних опадів і тому з часом товщина шару може досягати декількох міліметрів. При опадах цей шар добре зволожується і, відповідно, знижуються поверхневий опір і вологорозрядна напруга. Такі умови експлуатації на ПС 110/35/6 кВ «Дашуківка» і ПС 10/35/6 кВ «Здолбунів-ЦШК» вимагали проведення чистки поверхні не менш одного або двох раз на рік.

Основні положення технологічного процесу нанесення покриття на основі RTV компаундів викладені в [5, 6, 10]. Аналізуючи отриманий досвід практичного їх використання в «польових умовах», до них можна додати деякі рекомендації та пояснення. При приготуванні гідрофобізуючого розчину слід звернути увагу на наступне.

1. Оскільки до складу гірофобізуючого розчину входить органічний розчинник, що може пошкоджувати деякі типи пластикових виробів, при приготуванні розчину найкраще використовувати металеві ємності. З моменту змішування компонентів починаються процеси полімеризації, отже, час використання готового розчину обмежений і готувати його краще об'ємом на 1 заправку розпилювача. Після переливання розчину до баку розпилювача на стінках ємності залишається тонкий шар розчину, який досить швидко затвердіває, тому треба періодично проводити її очищення. Для видалення затверділих залишків за допомогою ножа більш зручно є циліндрична форма. Отже, для приготування гірофобізуючого розчину треба використовувати металеву ємність циліндричної форми об'ємом 1-1,5 дм³ (л).

2. Для вимірювання кількості сипких наповнювачів від 20 см³ (мл) найбільш зручнішим виявилось застосування мірників, перероблених з прозорих пластикових ємностей (20-100 см³) з-під засобів побутової хімії, на стінки якої голкою нанесена (видряпана) мірна шкала. А для об'єму до 20 см³ (мл) – з одноразових шприців.

3. Перемішування компонентів до отримання однорідної суміші досить ефективно виконувати дерев'яною або металевою лопаткою довжиною 25-35 см і шириною робочої частини 1,5-3 см.

4. Оскільки підвищена температура значно прискорює хімічні процеси, то при температурах вище 20⁰С приготувану суміш слід прикривати від прямих сонячних променів.

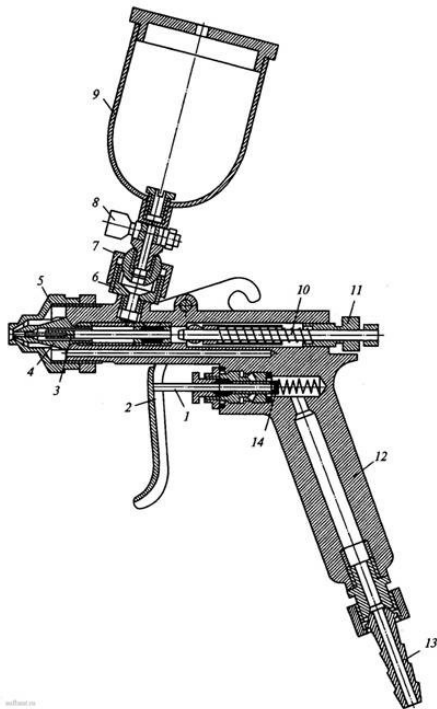
Для нанесення покриття використовуються пневматичні розпилювачі, в яких подача рідини, що розпилюється, здійснюється самопливом або примусово під тиском. Розташування бачка зверху надає можливість використовувати майже 100% залитого до нього гірофобізуючого розчину. Але коли в'язкість розчину перевищує 20 с по віскозиметру ВЗ-4, починає істотно зменшуватись швидкість його подачі до головки розпилювача і, відповідно, продуктивність нанесення.

Характерним представником розпилювачів першого типу є фарборозпилювач ручний пневматичний СО-6Б (рис. 2).

Наявність зверху бачка кришки з отвором для потрапляння повітря при його заповненні дещо обмежує кути нахилу (щоб не сталось перекриття розчином означеного отвору) в правий і лівий боки. Робочий тиск подачі повітря при проведенні гідрофобізації на діючих енергооб'єктах підтримувався на рівні 0,2 МПа (~ 2 атм).

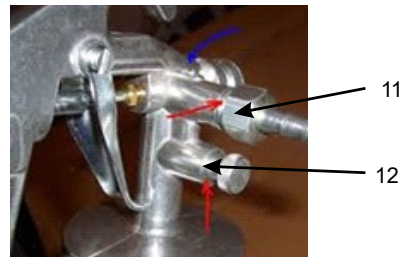
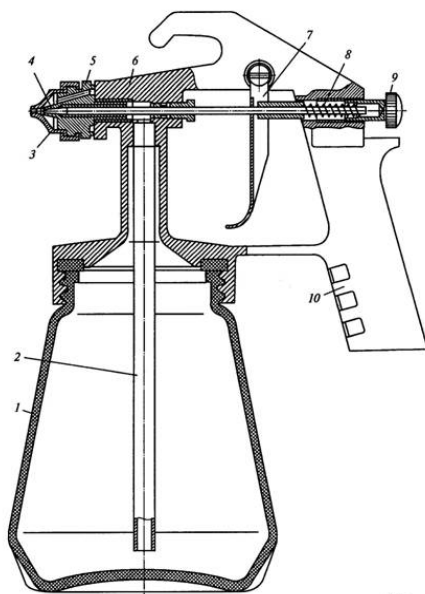
Фарборозпилювач ручний пневматичний СО-19Б відрізняється більш складною конструкцією, яка дозволяє частину стисненого повітря через спеціальне відгалуження спрямовувати у бачок (розташований знизу), створюючи там надлишковий тиск. Примусова подача у поєднанні зі збільшеним тиском дозволяє використовувати гірофобізуючий розчин більшої в'язкості, тобто зменшити в ньому частку розчинника. При розпиленні частки такого розчину на виході з сопла матимуть більші вагу і швидкість

(кінетичну енергію руху, спрямовану в бік поверхні ізоляції), отже, менш наражаються впливу у разі несприятливого напрямку вітру (рис. 3).



- 1 – стрижень; 2 – курок; 3 – голка;
- 4 – сопло; 5 – головка;
- 6 – перехідник; 7 – накидна гайка;
- 8 – регулювальний кран; 9 – бачок;
- 10 – пружина; 11 – регулятор голки;
- 12 – рукоятка;
- 13 – штуцер подачі стисненого повітря;
- 14 – повітряний клапан.

Рис. 2. Фарборозпилювач СО-6Б



- 1 – бачок; 2 – трубка;
- 3 – головка; 4 – голка;
- 5 – сопло; 6 – корпус;
- 7 – курок; 8 – пружина;
- 9 – регулятор голки;
- 10 – рукоятка; 11 – штуцер подачі стисненого повітря;
- 12 – відгалуження подачі повітря у бачок

Рис. 3. Фарборозпилювач СО-19Б.

Робітникам, які працюють з такими розпилювачами, слід мати на увазі, що при одночасному різкому зменшенні тиску подачі повітря і рівні гірофобізуючого розчину вище отвору відгалуження подачі повітря у бачок (при нахилі або перекиданні розпилювача), відбудеться його потрапляння до каналів подачі повітря. Затвердіння розчину RTV компаунду може викликати

закупорку повітряних каналів розпилювача і шлангу подачі повітря, очищення яких потребуватиме значних зусиль і часу.

Під час нанесення RTV покриття у «польових умовах» трапляються випадки, коли потрібно відхилення факелу розпилювання під великим кутом у вертикальному напрямку, наприклад, на внутрішню частину ребер ізоляторів зстроєних колонок роз'єднувача класу 330 кВ (рис. 4). За таких умов використання розпилювача СО-19Б має деяку перевагу, бо при заповненні бачка на третину максимальний кут вертикального відхилення, при якому можливе розпилення, складає приблизно 60° , що трохи більше ніж 50° для розпилювача СО-6Б (рис. 5).



Рис. 4. Нанесення RTV покриття на роз'єднувач ВРП 330 кВ Курахівської ТЕС

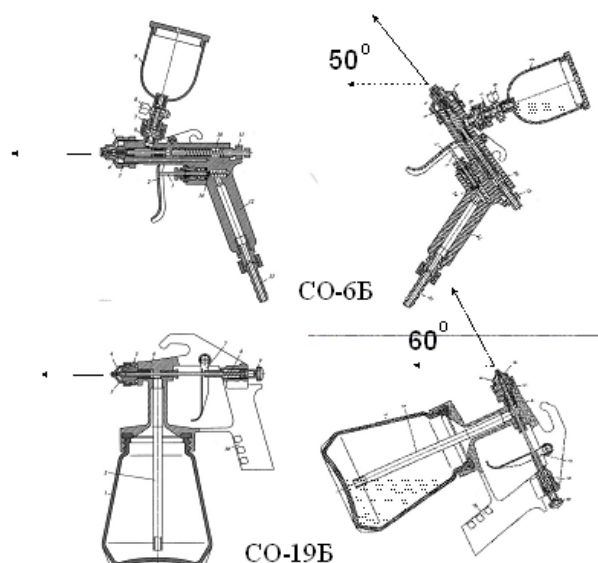


Рис. 5. Кути максимального вертикального нахилу факелу розпилювання при заповненні бачка на третину.

RTV покриття наноситься на суху поверхню, очищену від забруднень. Перед повторним нанесенням рекомендується проводити обдув поверхні стисненим повітрям і протирання ганчір'ям з незначним зусиллям, при цьому допускається наявність незначного залишкового забруднення товщиною шару не більше 50 мкм. Якщо шар забруднення має більшу товщину, то його повинно видалити із застосуванням засобів, передбачених для видалення такого типу забруднення. Зазвичай шар наносимого покриття складає біля 200 мкм, тому «герметизує» означені залишкові забруднення і повністю відновлює ізоляційні властивості поверхні.

При проведенні робіт по нанесенню нового шару після 5 років експлуатації ні в одному випадку не зафіксовано наявності шару забруднення, яке після обдування і протирання ганчір'ям мало би товщину завбільшки 50 мкм.

RTV покриття може наноситись на поверхню фарфорової (рис. 6), скляної (рис. 7а), полімерної (рис. 7б) ізоляцій. Переважна спрямованість застосування на опорній фарфоровій ізоляції обумовлена гідрофільністю її поверхні та, як правило, високою вартістю обладнання, де вона встановлена. Застосування нанесення на лінійну ізоляцію стримується такими факторами:

- труднощі в отриманні дозволу на вимкнення лінії електропередачі;
- наявність поряд обладнання, яке знаходиться під високою напругою, що обмежує використання колінчастих автомобільних підіймачів (рис. 7а);
- значні витрати часу, що необхідні автомобільному підіймачу для займання нової позиції;
- більші технологічні втрати матеріалів, що викликані підсиленням швидкості вітру при збільшенні висоти над поверхнею землі.



а



б

Рис. 6. Нанесення RTV покриття на опорно-стрижньові ізолятори ПС 110/35/6 кВ «Здолбунів-ЦШК» (а), вводи силових трансформаторів ПС АРЗ-1 «Азовсталь» (б).



Рис. 7. Нанесення RTV покриття на скляні ізолятори ВРП-330 кВ Курахівської ТЕС (а), полімерні ізолятори ВРП 150 кВ «Запоріжжкокс»: (б).

Альтернативою може стати нанесення покриття на демонтовані або запасні (у випадку скляних) ізолятори для подальшого встановлення на опори персоналом експлуатуючої організації у зручний для них час (рис. 8).



Рис. 8. Нанесення RTV покриття на поверхню демонтованих ізоляторів ЛК 70/220-7 («Азовсталь», 2013 р.)

Висновки. 1. Ефективність використання RTV покриття підтверджена більш ніж 5-ти річним досвідом експлуатації в районах, де атмосфера забруднюється такими характерними викидами: добре розчинні речовини з гарною електропровідністю (Зуєвська ТЕС), окисли металів від металургійних підприємств (ПС у містах Запоріжжя, Маріуполь, Єнакієво), цементоподібні речовин (ПС «Дашуківка», ПС «Здолбунів-ЦШК»).

2. В процесі нанесення найбільш продуктивним є використання серійних пневматичних розпилювачів з примусовою подачею гірофобізуючого розчину.

3. RTV покриття придатне до нанесення на поверхню фарфорової, скляної і силіконової ізоляції.

4. Можливість відновлення даного типу покриття шляхом нанесення «нового» шару без видалення «старого» (яке відпрацювало гарантований термін) підтверджено досвідом експлуатації на ПС м. Запоріжжя і ВРП Зуєвської та Курахівської ТЕС.

Список використаної літератури:

1. Василець С. В., Василець К. С. Техніка високих напруг: навч. пос. Рівне : НУВГП, 2018. 187 с.
2. Ravi S. Gorur. Investigation of Field Energized RTV Coated Porcelain Insulators. NGK Rev: Overseas Ed. 1995. No. 19. P. 34–37.
3. Ким Е. Д., Пономарев П. Е. Исследование влияния коронного разряда на кремнийорганические покрытия холодного отверждения. URL: <http://surl.li/hngca> (дата звернення: 20.03.2023).
4. Кремнійорганічна електроізоляційна гідрофобна композиція для високовольтних ізоляторів: пат. 75372 Україна: МПК (2012.01), H01B17/02 (2006.01), H01B17/50 (2006.01), H01B 19/00; опубл. 26.11.2012, Бюл. № 22.
5. Спосіб механізованого нанесення гідрофобного покриття на електроізоляційну конструкцію : пат. 75368 Україна : МПК (2012.01), H01B17/02 (2006.01) ; опубл. 26.11.2012, Бюл. № 22.
6. Спосіб нанесення рівнотовщинного гідрофобного покриття на електроізоляційну конструкцію : пат. 75367 Україна : МПК (2012.01), H01B17/02 (2006.01), H01B 19/00; опубл. 26.11.2012, Бюл. № 22.
7. Ким Ен Дар, Пономарев П. Е. Опыт эксплуатации кремнийорганического покрытия холодного отверждения на подстанциях энергосистем Украины. Электрические сети и системы. К., 2006. № 3. С. 32–35.
8. Ким Е. Д., Шеленберг М. В., Трифонов В. З. Перспективы применения стеклянных изоляторов с гидрофобным покрытием. Электроэнергия. Передача и распределение. 2016. URL: <http://surl.li/hngbt> (дата звернення: 20.03.2023).
9. ТОВ «Львівська ізоляторна компанія». Звіт з управління за 2020 рік. URL: <http://surl.li/hngbi> (дата звернення: 20.03.2023).
10. ГНД 34.03.603-2004 Методика посилення підстанційної ізоляції з застосуванням гідрофобного покриття на основі кремнійорганічного полімерного компаунда холодного отвердіння ЕКП 102Е / Об'єднання енергетичних підприємств «Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики». Київ. 2004. 12 с.

References:

1. Vasylecj S. V., Vasylecj K. S. Tekhnika vysokyx naprugh: navchalnyj posibnyk [High voltage technology: a study guide]. 2018. Rivne. NUVGhP. (in Ukrainian)
2. Ravi S. Gorur. Investigation of Field Energized RTV Coated Porcelain Insulators. NGK Rev. Overseas Ed. 1995. No. 19. P. 34–37.
3. Kim E. D., Ponomarev P. E. Issledovanie vlijaniya koronnogo razrjada na kremnijorganicheskie pokrytija holodnogo otverzhenija [Investigation of the effect of corona discharge on organosilicon coatings of cold curing]. Available at: <http://surl.li/hngca> (accessed 20 March 2023). (in Russian)
4. Kremnijorghnichna elektroizoljacija ghydrofobna kompozycja dlja vysokovoljnykh izoljatoriv [Organosilicon electrically insulating hydrophobic composition for high-voltage insulators]. Ukrainian patent, no. 75372, 2012.
5. Sposib mekhanizovanogho nanesennja ghydrofobnogho pokryttja na elektroizoljacijnu konstrukciju [The method of mechanized application of a hydrophobic coating on an electrical insulating structure]. Ukrainian patent, no. 75368, 2012.
6. Sposib nanesennja rivnotovshhynnogho ghydrofobnogho pokryttja na elektroizoljacijnu konstrukciju [The method of applying a hydrophobic coating of equal thickness to an electrical insulating structure]. Ukrainian patent, no. 75367, 2012.
7. Kim En Dar, Ponomarev P. E. Opyt jekspluatacii kremnijorganicheskogo pokrytija holodnogo otverzhenija na podstancijah jenergosistem Ukrainy [Experience in the use of cold-curing organic silicon coating at substations of the energy systems of Ukraine]. Jelektricheskie seti i sistemy. 2006. No. 3. P. 32–35. (in Russian)
8. Kim E. D., Shelenberg M. V., Trifonov V. Z. Perspektivy primenenija stekljannyh izoljatorov s gidrofobnym pokrytiem [Prospects for the application of glass insulators with a hydrophobic coating]. Jelektrjenergija. Peredacha i raspredelenie [Electric power. Transmission and allocation] (electronic journal). 2016. Available at: <http://surl.li/hngbt> (accessed 20 March 2023). (in Russian)
9. TOV «Ljvivjsjka izoljatorna kompanija» (2020) Zvit z upravlinnja za 2020 rik [Management report for 2020]. Available at: <http://surl.li/hngbi> (accessed 20 March 2023). (in Ukrainian)
10. Ob'jednannja energhetychnykh pidpryjemstv «Ghaluzevyj rezervno-investycijnyj fond rozvytku energhetyky» (2004) GhND 34.03.603-2004 Metodyka posylennja pidstancijnoji izoljaciji z zastosuvannjam ghydrofobnogho pokryttja na osnovi kremnijorghnichnogho polimernogho kompaunda kholodnogho otverdinnja ЕКР 102Е [The technique of strengthening substation insulation using a hydrophobic coating based on a cold-curing organosilicon polymer compound ЕКР 102Е]. Kyjiv. 12 p. (in Ukrainian)

Стаття надійшла до редакції 11.04.2023 р.