



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **75367** (13) **U**  
(51) МПК (2012.01)  
**H01B 17/02** (2006.01)  
**H01B 19/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

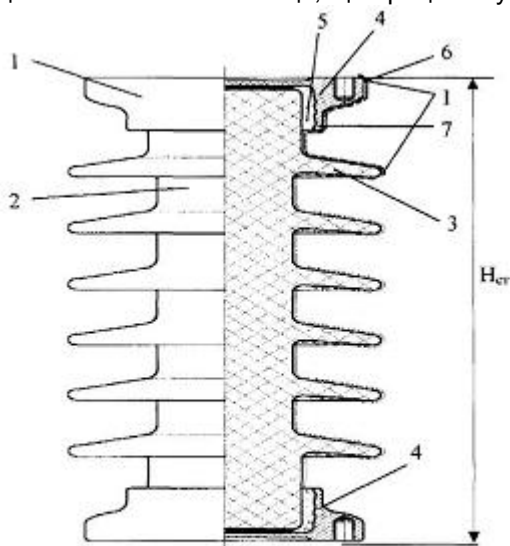
**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2012 06699</b>	(72) Винахідник(и): <b>Розов Валерій Аркадійович (UA), Злаказов Олександр Борисович (UA), Таран Володимир Миколайович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>31.05.2012</b>	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>26.11.2012</b>	(73) Власник(и): <b>ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ИНВЕСТ- ЕНЕРГО",</b> ул. Угрешская, 2, стр. 6, г. Москва, 115088 (RU)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>26.11.2012, Бюл.№ 22</b>	(74) Представник: <b>Колосов Олександр Євгенович, реєстр. №269</b>

**(54) СПОСІБ НАНЕСЕННЯ РІВНОТОВЩИННОГО ГІДРОФОБНОГО ПОКРИТТЯ НА ЕЛЕКТРОІЗОЛЯЦІЙНУ КОНСТРУКЦІЮ**

**(57) Реферат:**

Спосіб нанесення рівнотовщинного гідрофобного покриття на електроізоляційну конструкцію належить до високовольтної техніки. Спосіб можна використовувати для посилення поверхневої електричної міцності зовнішньої ізоляції, що працює в умовах забруднення.



Фиг. 1

UA 75367 U



Корисна модель належить до високовольтної техніки, а саме до способів нанесення гідрофобного покриття на електроізоляційну конструкцію, і може бути використана для посилення поверхневої електричної міцності зовнішньої ізоляції, що працює в умовах забруднення.

Відомий спосіб нанесення рівнотовщинного гідрофобного покриття на електроізоляційну конструкцію, вибраний як аналог, шляхом нанесення на її поверхню гідрофобних покриттів у вигляді кремнієорганічних паст [1]. При цьому дослідження і дослідна експлуатація встановили, що оптимальна товщина покриття у вигляді паст і вазелінів на поверхні ізолятора повинна бути 0,5-1,0 мм, а в деяких випадках 3,0-5,0 мм [2], що свідчить про відсутність оптимальної товщини (діапазону товщин) цього покриття в залежності від експлуатаційних факторів високовольтної ізоляції.

Недоліком способу аналога через використання гідрофобних паст при його здійсненні є те, що в процесі експлуатації гідрофобний пастоподібний шар насичується забруднюючими речовинами і втрачає гідрофобні властивості, наслідком чого є низькі значення витримуваних робочих напруг, а також необхідність періодичної заміни електроізоляційної конструкції.

Як найбільш близький аналог (прототип) вибраний спосіб нанесення гідрофобного покриття на електроізоляційну конструкцію шляхом попереднього очищення її зовнішньої поверхні від існуючих забруднень з подальшим нанесенням на цю поверхню рівнотовщинного гідрофобного покриття у вигляді кремнієорганічних еластомерів, які утворюють на поверхні ізолятора тверду захисну плівку [3].

Недоліком способу найближчого аналога є відсутність апріорного детермінування ефективних значень рівновеликих товщин наносимого гідрофобного кремнієорганічного покриття, що знаходиться в рідкому або пастоподібному початковому стані, на поверхню електроізоляційної конструкції через неврахування повного спектра експлуатаційних факторів високовольтної ізоляції, а також типу і стану забруднень на її поверхні, наслідком чого є неможливість досягнення при конкурентних товщинах максимально можливих значень витримуваних робочих напруг, а також необхідність періодичної заміни електроізоляційної конструкції.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення ефективності способу шляхом апріорного детермінування ефективних значень рівновеликих товщин наносимого гідрофобного кремнієорганічного покриття, що знаходиться в рідкому або пастоподібному початковому стані, на поверхню електроізоляційної конструкції, в залежності від розподілу напруженості електричного поля уздовж її поверхні, а також від гідрофобних і електроізоляційних властивостей застосовуваного гідрофобного кремнієорганічного покриття в його вулканізованій формі, що сприятиме забезпеченню високих значень розрядних напруг при роботі електроізоляційної конструкції в умовах забруднення різного ступеня і зволоження.

Поставлена задача вирішується тим, що у спосіб нанесення рівнотовщинного гідрофобного покриття на електроізоляційну конструкцію, що полягає в очищенні її зовнішньої поверхні від існуючих забруднень з подальшим нанесенням на очищену зовнішню поверхню гідрофобного покриття однакової товщини, наприклад, на основі одно- або двопакувального кремнієорганічного компаунда холодного твердіння, рідкого або пастоподібного в початковому стані, містить силіконовий низькомолекулярний каучук, наповнювач, а також отверджувач, новим є те, що гідрофобне покриття наносять по всій поверхні електроізоляційної конструкції з товщиною в межах 80-800 мкм, що визначається залежно від умов експлуатації електроізоляційної конструкції, при цьому використовують гідрофобне покриття, яке у вулканізованому стані характеризується величиною крайового кута змочування в межах від 60° до 179°, трекінгоерозійною стійкістю при тривалості випробувань, що становить не менше 500 год. при робочих напругах 6-750 кВ, а також величиною дугостійкості, яка характеризується значенням струму дуги не менше 100 мА при тривалості впливу не менше 600 с.

Як умови експлуатації електроізоляційної конструкції вибирають величину максимально допустимої робочої напруги, що подається на електроізоляційну конструкцію, значення максимально напруженості електричного поля, а також ступінь забруднення атмосфери і величину її відносної вологості.

Товщину наносимого на електроізоляційну конструкцію гідрофобного шару збільшують пропорційно ступеню забруднення атмосфери, переважно від другого до четвертого ступеня, величині її відносної вологості, що знаходиться в межах 20-100 %, величині максимально допустимої робочої напруги, що подається на електроізоляційну конструкцію, яка знаходиться в межах 6-750 кВ, а також визначеному експериментально значенню максимально напруженості електричного поля біля основи металевої арматури.

Використовують кремнієорганічний компаунд на основі силіконового низькомолекулярного каучуку марки СКТН, наповнювача і отверджувача, причому як наповнювач використовують як твердий наповнювач у вигляді гідрату окису алюмінію і сажі ацетиленової, так і рідкий наповнювач у вигляді низькомолекулярної кремнієорганічної рідини 119-215, а як отверджувач використовують метилтриацетоксисилан, при цьому використовують кремнієорганічний компаунд, який на 100,0 мас. ч. каучуку містить гідрат окису алюмінію в кількості 5,0-15,0 мас. ч., сажу ацетиленову в кількості 0,5-2,5 мас. ч., низькомолекулярну кремнієорганічну рідину 119-215 у кількості 1,25-2,5 мас. ч., метилтриацетоксисилан в кількості 2,5-6,5 мас. ч.

Перед очищенням гідрофобізованої поверхні електроізоляційної конструкції від забруднень визначають наявність її зволоження, при наявності якого здійснюють підсушування гідрофобізованої поверхні разом із забрудненнями, потім проводять очистку сухої гідрофобізованої поверхні тільки від забруднень, що не цементуються, шляхом використання джерела стисненого повітря, що забезпечує тиск не менше 0,4 МПа, після чого наносять на неї один або кілька шарів гідрофобного покриття.

Наявність зволоження існуючих на гідрофобізованої поверхні забруднень визначають тактильно або візуально, а також шляхом вимірювання їх електричного опору.

Здійснюють ручне нанесення шару гідрофобного покриття на гідрофобізовану поверхню електроізоляційної конструкції.

Здійснюють механізоване нанесення шару гідрофобного покриття на гідрофобізовану поверхню електроізоляційної конструкції шляхом розпилення з використанням джерела стисненого повітря, що забезпечує витрату не менше 15 м<sup>3</sup>/ч при тиску не менше 0,15 МПа, при цьому розпилення здійснюють при відстані від зрізу сопла розпилювача до покриваємої поверхні від 100 мм до 600 мм при швидкості переміщення сопла діаметром 1,6-2,7 мм уздовж гідрофобізованої поверхні електроізоляційної конструкції, що становить не менше 0,15 м/с.

Перераховані вище ознаки складають суть корисної моделі.

Наявність причинно-наслідкового зв'язку між сукупністю суттєвих ознак корисної моделі і технічним результатом, що досягається, полягає в наступному.

Згідно технічного рішення, що заявляється, товщину наносимого гідрофобного покриття вибирають детерміновано в залежності від умов експлуатації електроізоляційної конструкції, за які вибирають насамперед величину максимально допустимої робочої напруги, що подається на електроізоляційну конструкцію, значення максимальної напруженості електричного поля на ділянці металевої арматури, а також ступінь забруднення атмосфери (СЗА) і величину її відносної вологості. Тому на розгляді кожного з цих чинників слід зупинитися окремо.

СЗА - характеристика атмосфери, що відображає її вплив на роботу ізоляції електроустановок. СЗА для вибору ізоляції, як правило, слід визначати за картами рівнів ізоляції, затвердженим в установленому порядку [4]. При відсутності карт рівнів ізоляції, СЗА визначається за характеристиками джерел забруднення в залежності від відстані від них до електроустановки.

При цьому на території конкретної енергосистеми повинні бути виявлені зони з підвищеною СЗА (III СЗА і вище). З цієї метою попередньо повинні бути виділені райони зі слабким ступенем забруднення (I і II СЗА). Так, наприклад, до районів з I СЗА слід віднести ліси, тундру, лісотундру, болота, луки і високірі райони з не дефіліруючими незасоленими ґрунтами, що не потрапляють в зону впливу промислових та природних джерел забруднення. До районів з II СЗА слід відносити непромислові зони міст, райони зі слабо засоленими ґрунтами; сільськогосподарські райони, в яких застосовуються хімічні добрива і хімічна обробка посівів, що не потрапляють в зону впливу промислових та природних джерел забруднень.

При різних станах навколишнього середовища утворюються шари забруднень різної інтенсивності, які поділяються на класи і характеризуються, зокрема, питомою довжиною шляху витоку в розрахунку на напругу, що дорівнює 1 кВ:

- при легкому забрудненні (клас СЗА I) питома довжина шляху витоку становить 16 мм/кВ,
- при середньому забрудненні (клас СЗА II) цей показник дорівнює 20 мм/кВ;
- при сильному забрудненні (клас СЗА III) - 25 мм/кВ;
- при дуже сильному забрудненні (клас СЗА IV) - 31 мм/кВ.

У зонах з V-VII СЗА цементних і сланцепереробних підприємств, електричних станцій на сланцях, підприємств чорної металургії, підприємств з виробництва калійних добрив, хімічних виробництв, що випускають фосфати, алюмінієвих заводів при наявності цехів з виробництва електродів (цехів анодної маси) при заміні слід встановлювати ізолятори з порцеляни і малолужного скла або полімерні ізолятори спеціального виконання з оболонкою з кремнієорганічної гуми.

Гідрофобні покриття, як правило, доцільно застосовувати в зонах з 2-ю - 4-ю СЗА і вище при забрудненнях, що цементуються, а також в зоні винесення хімічних виробництв з великим вмістом у викидах легкорозчинних речовин, що призводять до суттєвого підвищення провідності природних опадів.

5 Як відомо, електроізоляційні конструкції піддаються впливу атмосферних опадів і промислових забруднень. На всіх етапах розвитку техніки передачі електроенергії по повітряних високовольтних лініях важливим фактором, що перешкоджає забезпеченню сталого живлення споживача, були і залишаються перекриття ізоляторів. Вони відбуваються в результаті утворення на їх поверхні шляхів витоку з електролітичною провідністю. Остання виникає в

10 результаті осадження на електроізоляційних конструкціях забруднень і вологи, присутніх в повітрі. Навіть невелике забруднення значно знижує електричну міцність ізоляції. Значна кількість аварій (близько 13 %) на повітряних лініях електропередачі відбувається при перекритті лінійних ізоляторів в результаті їх забруднення. Тому боротьба із забрудненнями ізоляції і

15 забезпечення її надійної роботи в умовах інтенсивного забруднення природними і промисловими осадами набуває особливої актуальності. При різних станах навколишнього середовища утворюються шари забруднень різної інтенсивності. Осідаючи з повітря частки утворюють з плином часу на поверхні ізоляторів шар забруднення. Цей шар при його зволоженні атмосферою вологою збільшує свою

20 електропровідність, що ще більше знижує ізолюючу здатність ізоляційних конструкцій. В результаті створюються умови для перекриття ізоляторів не тільки при перенапруженнях, а й при нормальному експлуатаційному режимі. Крім цього, деякі види забруднень, що осідають на поверхні ізоляції, можуть вступати в хімічні реакції з ізоляційним матеріалом. Зокрема, для скла найбільш небезпечними є речовини,

25 що утворюють при зволоженні лужні розчини. Не меншу небезпеку можуть представляти і "мокрі" провідні забруднення. Так, наприклад, в приморських районах підвищена засоленість атмосфери сприяє зниженню розрядних характеристик лінійної та підстанції ізоляції. Крім того, розчини NaCl є корозійнонебезпечними для арматури, зокрема для чавуну і вуглецевої сталі.

30 Тому корозія арматури відбувається набагато інтенсивніше і термін служби ізоляторів може становити всього від 2 років до 6 років.

Отже, для підвищення надійності високовольтної ізоляції в забруднених районах є актуальною задача посилення зовнішньої електричної міцності ізоляції для забезпечення високих розрядних напруг в несприятливих умовах.

35 Запобігання умов виникнення поверхневих розрядів шляхом посилення ізоляції за рахунок повної або часткової заміни ізоляторів старих типів на нові потребує великих капітальних витрат, і в більшості випадків призводить до збільшення габаритних розмірів ізоляторів, що не завжди прийнятно. Профілактичні заходи, що застосовуються в даний час в енергосистемах країн СНД (чистка і обмивання ізоляції, нанесення гідрофобних паст і вазелінів) виконуються

40 вручну на відключеному устаткуванні, і в більшості випадків для районів з V-VII СЗА не рідше 1-2 рази на рік. Крім того, зараз розробляються нові технічні рішення, наприклад, для порцелянових ізоляторів, які покривають гідрофобним шаром, внаслідок чого вони можуть працювати в зонах з високим рівнем забруднень і мають більш просту у виготовленні форму.

45 У свою чергу, гідрофобні покриття, що наносяться, можна розділити на три групи: пластичні в'язкі покриття (наприклад, кремнієорганічні пасти KB-3, ККД і вазеліни), рідкі покриття (трансформаторне, турбінне масло тощо), а також покриття у вигляді твердих плівок.

Перша група знайшла досить широке застосування при гідрофобізації підстанції ізоляції. Крім водовідштовхувальних властивостей, покриття цієї групи мають здатність обволікати осілі на ізоляційній поверхні тверді частинки, відокремлювати їх одна від одної непровідною і

50 ненамокаючою плівкою і відновлювати гідрофобні властивості поверхні. Однак з плином часу осілі частинки занурюються в пасту і насичують її. Піддаючись атмосферним і хімічним впливам, паста може окислюватись, в результаті чого відбувається втрата її гідрофобних властивостей. Ці процеси ведуть до затвердіння покриття, росту поверхневої провідності, появи поверхневих розрядів (ПР), і в результаті - до пошкодження ізоляції (появі тріщин і руйнування ребер) [5].

Деякі типи кремнієорганічних вазелінових покриттів при нагріванні стають текучими, що обмежує можливість їх застосування в районах з підвищеною температурою і на конструкціях, схильних до нагрівання в процесі роботи. Також застосування паст і вазелінів неоднаково ефективно для різних умов забруднення. Так, покриття кремнієорганічним вазеліном KB

виявилося ефективним в умовах забруднень цементних заводів і неефективним в зоні винесення алюмінієвих заводів [6].

Дослідження та дослідна експлуатація встановили, що оптимальна товщина покриття у вигляді паст і вазелінів на поверхні ізолятора повинна бути 0,5-1,0 мм, а в деяких випадках 3,0-5,0 мм [7]. У той же час згідно з Інструкцією з експлуатації ізоляції електроустановок в районах із забрудненою атмосферою РД 34.51.503-93, рекомендується наносити пасту шаром товщиною (0,7-1,0) мм в умовах забруднень, що цементуються, а також інтенсивних забруднень, що не цементуються, і товщиною (0,2-0,3) мм при малій кількості випадючих твердих забруднень.

При цьому термін заміни пастоподібних покриттів залежить від умов експлуатації, типу і товщини покриття. Він визначається не тільки втратою гідрофобних властивостей, але і можливістю легкого видалення покриття з поверхні, і при інтенсивних забрудненнях для більшості застосовуваних паст і вазелінів становить максимум близько 1 року.

Труднощі застосування паст для гідрофобізації пов'язані з тим, що основний спосіб їх нанесення - ручний, а це вимагає великих трудовитрат і відключення високовольного обладнання на тривалий час. Періодичне видалення паст, які втратили або знизили свої властивості, теж поки здійснюється вручну за допомогою дрантя, а в разі утворення щільних шарів забруднення потрібне додаткове використання, як правило, токсичних розчинників. В окремих випадках при міцній кірці забруднення протирання ізоляторів стає настільки трудомісткою роботою, що доводиться йти на заміну ізоляторів новими ізоляторами, а очищення здійснювати в умовах майстерні.

Для зниження трудовитрат і підвищення рівномірності нанесення кремнієорганічних паст були розроблені техпроцеси механізованого розпилення [8]. Їх істотним недоліком є використання розпилювачів спеціальної конструкції і збільшення витрат матеріалів у зв'язку з втратами при розпилюванні.

Застосування як гідрофобізаторів рідин дозволяє механізувати процес нанесення покриттів і проводити гідрофобізацію ізоляції в місцях, важкодоступних для ручного нанесення. Але через малу в'язкість ці рідини погано утримуються на поверхні ізоляторів, порівняно легко здуваються вітром і змиваються водою. Крім того, термін їх дії сильно скорочується внаслідок випаровування, особливо в жаркі літні місяці.

Гідрофобізація рідинами найбільш ефективна для зовнішньої ізоляції в районах з мокрим забрудненнями і з невисокою інтенсивністю випадючих твердих забруднень, а також для ізоляції всередині осередків комплектних розподільчих пристроїв зовнішньої установки (КРУН), яка схильна до запотівання при різкій зміні температури навколишнього середовища.

Подальшим розвитком цього напрямку стало використання кремнієорганічних рідин. Вони мають більш високі гідрофобізуючі та експлуатаційні властивості, ніж мінеральні масла. Було встановлено, що такі рідини, як правило, можна наносити на забруднені ізолятори без попереднього очищення за допомогою стандартних обприскувачів і розпилювачів. Тому, починаючи з 70-х років минулого століття, має місце тенденція до все більш широкого застосування саме кремнієорганічних компаундів. Особливості їх будови обумовлюють безсумнівні перспективи в розробці на їх основі нових гідрофобних покриттів, а також електроізоляційних конструкцій.

У свою чергу, покриття третьої групи у вигляді твердих плівок можуть експлуатуватися тривалий період часу, але більшість з них не отримали широкого впровадження або через високу вартість, або складність і багатокomпонентність складу, або через вимоги наявності підвищених температур і додаткових чинників для полімеризації.

Було встановлено, що кремнієорганічні покриття найбільш доцільно застосовувати в районах, де забруднення в атмосфері мають переважно газоподібні і туманоподібні компоненти. У той же час основною технічною проблемою є дефіцит ефективних методів нанесення покриття, а також відсутність вибору ефективних значень (різновеликих або рівновеликих) товщин наносимого гідрофобного кремнієорганічного покриття електроізоляційних конструкцій в залежності від величин і характеру розподілу витримуваних ними імпульсних напруг уздовж їх поверхонь, а також інших факторів.

Це, в свою чергу, не забезпечує максимально високих значень розрядних напруг при роботі таких електроізоляційних конструкцій в умовах забруднення різного ступеня і зволоження. Тому тип і товщина наносимого гідрофобного покриття, як правило, повинні визначатися на основі дослідної експлуатації покриттів та (або) результатів досліджень у конкретних умовах експлуатації.

Як відомо, в початковому стані (до початку експлуатації) поверхня ізолятора покрита непровідним чужорідним шаром, через який протікає надзвичайно малий ємнісний струм витоку (частки міліампера). В результаті зволоження (роса, туман, слабкий дощ, танення снігу) шар

забруднення зволожується і стає провідним, тобто зволоження шару забруднення призводить до різкого зменшення його опору. В результаті струм витoku різко зростає, досягаючи величини в десятки і навіть сотні міліампер (у той же час сильний зливовий дощ, за сучасними уявленнями, вважається фактором позитивним, тому що сприяє вимиванню провідних розчинних речовин із шару забруднення та змиванню самого шару з поверхні ізолятора).

При протіканні струму витoku на поверхні ізолятора розсіюється енергія, потужність якої навіть при рівномірному забрудненні розподілена нерівномірно. Перебіг такого великого струму витoku призводить до нагрівання шару забруднення в результаті джоулевого тепла, що виділяється. Причому нагрівання поверхні ізолятора носить нерівномірний характер і залежить від діаметра ділянок поверхні, а також величини локального опору шару забруднення.

Енергія, що виділяється, призводить до підвищення температури зволоженого шару і випаровування вологи. Коли швидкість випаровування на найбільш нагрітій ділянці стає вище швидкості надходження вологи, поверхня висихає, і її опір різко збільшується. Внаслідок цього практично вся напруга виявляється докладеною до цієї невеликої найбільш нагрітої ділянки поверхні, в результаті чого відбувається її перекриття з утворенням часткової дуги.

Причому найбільшому нагріву піддаються поверхні ізолятора, прилеглі до стрижня і шапки ізолятора (для випадку рівномірно забрудненого ізолятора). Цей висновок підтверджується і численними експериментами як на моделях, так і на реальних конструкціях (див. фіг. 3).

У зазначених місцях з'являються сухі кільцеві зони з високим опором. Робоча напруга ізолятора тепер докладається до невеликої по ширині (кілька сантиметрів) сухої зони. Поява сухих зон призводить до різкого зростання загального опору шару забруднення, а, отже, і до зменшення струму витoku. Бувший до цього відносно рівномірним розподіл напруги по поверхні ізолятора різко спотворюється. Величина робочої напруги виявляється, як правило, достатньою для перекриття сухої зони. На поверхні ізолятора з'являються так звані часткові розряди.

Таким чином, струм в каналі дуги обмежується опором ділянки поверхні, що залишилась вологою. При виконанні умови  $R_{l-d} < R_{s-l}$ , де  $R_{l-d}$  - опір одиниці довжини дуги, а  $R_{s-l}$  - опір зволоженого шару забруднення на одиницю довжини шляху витoku, питомий опір каналу дуги зменшується, що призводить до подальшого зменшення повного опору і зростання струму витoku.

Виникає нестійкий режим горіння, не перешкоджає довільному подовженню дуги. При деякому значенні струму часткова дуга не гасне, а швидко розтягується і перекриває весь ізоляційний проміжок. Подальший хід подій залежить від багатьох факторів, не завжди піддаються точному обліку. Виниклі часткові розряди можуть горіти стійко, без подовження, не викликаючи перекриття ізолятора, і підсушивши зволожений шар забруднення, вони зникають. Але в ряді випадків часткові розряди, подовжуючись, розвиваються в потужну дугу, що перекриває гірлянду ізоляторів.

При розробці заявленого технічного рішення випробування на дугостійкість проводили за методом провідного містка в умовах впливу слабкострумкової дуги високої напруги відповідно до ГОСТ 10345.1-78. Цей метод дозволяє дати прискорену оцінку стійкості діелектричних матеріалів до впливу поверхневих розрядів.

Гідрофобні покриття, призначені для випробувань, наносили на попередньо знежирену поверхню металевих зразків. Після нанесення покриття зразки витримували перед початком випробувань не менше 7 діб для забезпечення повного затвердіння покриття по всій товщині. Перед початком випробувань на зразках в місцях передбачуваного горіння дуги (між електродами) за допомогою магнітного товщиноміра вимірювали товщину покриття. Випробуваний зразок поміщався на керамічну підпружинену підставку, що забезпечувало щільне прилягання електродів до випробуваної поверхні, після чого подавали високу напругу. Тривалість горіння дуги фіксували за допомогою секундоміра.

Випробувальна установка забезпечувала початковий струм 10 мА і подальше його збільшення, ступенями по 10 мА кожна, аж до 100 мА. Тривалість витримки на кожній ступені становила 60 с.

Оскільки поверхневі розряди виникають, в першу чергу, після зволоження поверхні, то перед випробуваннями зразки з гідрофобними покриттями різних складів зволожувалися в дистильованій воді протягом 24 годин. Випробування припинялися або при прогоранні і електричному пробіі покриття (згасання дуги), або після того, як зразок витримував 60 с впливу дуги з силою струму 100 мА (загальний час випробувань складав 600 с).

Візуальні спостереження виявили деякі закономірності руйнування покриттів електричної дугою. При малій товщині шару покриття (до 0,1 мм у покриттів з додаванням непровідних наповнювачів) на перших же секундах відбувається електричний пробій і, як наслідок, згасання

дуги, що супроводжується різким збільшенням струму на контрольному приладі більш, ніж у 2 рази.

При досить великій товщині покриття при струмі 10 мА на більшості зразків дуга горіла в повітрі уздовж поверхні, не викликаючи жодних пошкоджень, як показано на фіг. 6 (горіння дуги при силі струму 10 мА) і на фіг. 7 (стан поверхні покриття після 1 хв. її впливу при силі струму 10 мА).

При підвищенні струму до 20 мА і більше на поверхні будь-якого з випробуваних покриттів утворювалася "трекова доріжка", а значення струму на контрольному приладі зростали на 2-4 мА. Але дуга продовжувала горіти, отже, покриття зберігало хороші електроізоляційні властивості (приклад наведено на фіг. 8, де показано горіння дуги при силі струму 50 мА) і на фіг. 9, де показано стан поверхні покриття, що піддалося впливу сили струму 50 мА після відключення напруги).

При тривалому горінні дуги відбувається досить значний нагрів, що призводить до термічної деструкції покриття і, як наслідок, його пробою і загасання дуги, як показано на фіг. 10 (горіння продуктів деструкції покриття в каналі дуги перед її згасання) і на фіг. 11 (показаний вид поверхні покриття після згасання горіння продуктів деструкції покриття в каналі дуги).

При огляді зразків, виконаному після зняття напруги і видалення обвугленого поверхневого шару, було відмічено, що якщо дуга не гасла, то на місці "треку" покриття зберігає свою цілісність, але зі слідами деструкції. Відповідно можна виділити два основних етапи при руйнуванні покриття електричною дугою: 1) поява треку у вигляді руйнування (обвуглювання) тільки поверхневого шару покриття (див. фіг. 12), при цьому дуга не гасне; 2) руйнування - вигоряння покриття на більш, ніж 50 % товщини, розм'якшення шару, що залишився (див. фіг. 13) і його електричний пробій, при цьому дуга гасне.

Визначення дугостійкості однорідних покриттів на основі розроблених кремнієорганічних компаундів (КОК), що містять сажу ацетиленову (від 4-5 % і більше) і оксид заліза (від 20-30 % і більше) на металевих зразках неможливо через їх недостатню для даних випробувань електричну міцність (пробій на перших секундах при товщині покриття до 0,5 мм), У зв'язку з цим для композицій з додаванням 0,5-2,5 % сажі ацетиленової і 5-15 % гідрату окису алюмінію при аналізі результатів враховувалися значення, отримані на зразках з товщиною покриття від 0,25 мм до 0,5 мм.

Аналіз отриманих результатів не виявив чіткого зв'язку між товщиною покриття і механізмом (в даному випадку часом) його руйнування під дією електричної дуги (див. фіг. 14). На підставі отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

1. При використанні як наповнювачів гідрату окису алюмінію досягається найбільше збільшення дугостійкості, і з підвищенням його вмісту в складі композиції дугостійкість покриттів на основі КОК зростає.

2. Характер кривих ймовірності прогорання покриттів без наповнювачів, з (0,5-2,5)% сажі ацетиленового і з (1,25-2,5)% низькомолекулярної кремнієорганічної рідини марки 119-215 дуже близький, особливо на перших ступенях випробування. Отже, при введенні до складу композиції цих компонентів без перевищення вищевказаних концентрацій дугостійкість покриття не знизиться.

3. Дугостійкість покриття помітно знижується при збільшенні кількості низькомолекулярної кремнієорганічної рідини марки 119-215 ( $\geq 3\%$ ).

Згідно розробленого технічного рішення, компаунд у вулканізованому стані характеризується трекінгоерозійною стійкістю при тривалості випробувань, що становить не менше 500 год. При цьому ізолятори вважають такими, що витримали випробування, якщо після випробувань у випробувальній камері не відзначено їх критичних електричних пошкоджень. Тому цю відмітну ознаку, яка корелюється з дугостійкістю, слід розглянути окремо.

Трекінг - це процес поступового утворення провідних вугільних доріжок на поверхні зовнішньої ізоляції високовольтних установок внаслідок спільного впливу електричної напруги, вологості і забруднень. Стійкість ізоляційних матеріалів до трекінгоерозійних руйнувань вимірюється класом трекінгостійкості матеріалів.

Існує два основні підходи до запобігання явища тренінгу в досліджуваній високовольтній електроізоляційній конструкції, що отримана за допомогою відповідного способу: 1) внесення конструктивних змін; 2) застосування ізоляційних композиційних матеріалів, що володіють стійкістю до тренінгу.

Варіантом реалізації першого підходу є збільшення довжини шляхів струмів витоку і, як наслідок, зниження ймовірності утворення на ізоляції електричних розрядів, що призводять до утворення провідних треків і пробіів. Збільшення загальної довжини оброблення високовольтної електроізоляційної конструкції, при якому збільшується відстань між



неізолюваними металевими частинами різних потенціалів, є одним із спеціальних конструктивних заходів.

Однак цей шлях не завжди виявляється зручним і практичним, так як із зростанням класу напруги потрібно досить значне збільшення довжини електроізоляційної конструкції. Вимогами ГОСТ 9920-89 до умов роботи ізоляції та Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) встановлено кілька ступенів СЗА. Для кожного зі ступенів забруднення і різних напруг мережі визначені мінімально допустимі довжини шляху струмів витoku.

Вирішальну роль у виникненні або відсутності трекінгу відіграють самі матеріали, що застосовуються в якості ізоляції у високовольтних зовнішніх установках. Не всі матеріали в однаковій мірі можуть протистояти явищу трекінгу. Такі матеріали, як слюда, фарфор і скло, володіють високим класом трекінгостійкості і, в певному сенсі, є еталонами. З цієї причини скло і кераміка традиційно використовувалися для виробництва високовольтних ізоляторів.

З розвитком полімерних композиційних матеріалів і сучасних технологій з'явилася можливість створювати полімери, що володіють стійкістю до трекінгу. Після проведення серії експериментів була розроблена спеціальна рецептура анітрекінгового матеріалу на основі КОК, що відповідає всім необхідним вимогам трекінгостійкості при тривалості випробувань, що становить не менше 500 год., обґрунтування електроізоляційних властивостей і складу якої наводиться далі.

Згідно розробленого технічного рішення, використовують гідрофобне покриття, яке у вулканізованому стані характеризується величиною крайового кута змочування в межах від  $\alpha \geq 60^\circ$  (див. фіг. 14) і до  $179^\circ$  (див. фіг. 16). Цей параметр, який найбільш повно характеризує гідрофобність покриття на основі КОК, визначається насамперед розробленим оптимальним складом КОК.

Вищевказану відмітну ознаку можна також якісно проілюструвати за допомогою фіг. 15-18. Крім безпосереднього вимірювання крайового кута змочування завулканізованого вихідного покриття на основі КОК розробленого складу, були також проведені вимірювання кута змочування поверхні  $\alpha$  на зразках одного складу після певного часу впливу коронного розряду, що складав 1, 2, 5, 10, 20, 30, 60 і 120 хв.

Змочуваність поверхні покриття після 10 хв. впливу коронного розряду показана на фіг. 17, а після 60 хв. впливу коронного розряду показана на фіг. 18 (на фіг. 17 і фіг. 18 права крапля на поверхні є контрольною і знаходиться поза областю дії). В результаті було встановлено, що повна втрата гідрофобності ( $\alpha \approx 0^\circ$ ) на всій поверхні, підданій впливу корони (див. фіг. 17), настає після 10 хв. впливу коронного розряду.

При більш тривалому впливі (60 хв. і більше) значення  $\alpha$  стали поступово підвищуватися (див. фіг. 18). При цьому кращі показники були отримані для зразків, до складу яких була введена низькомолекулярна кремнієорганічна рідина 119-215 і збільшена до (0,5-2,5) мас. ч. кількість сажі. Це підтверджує припущення про те, що відновлення гідрофобності пов'язане з дифузійною низькомолекулярних кремнієорганічних сполук з шару покриття до його поверхні, а також з можливістю атомів вуглецю С "зв'язувати" активні атоми кисню (озону).

Проведені експерименти дозволили зробити наступні висновки:

1) зразки кремнієорганічних композицій із збільшеним до 3,5-5 % вмістом сажі володіють більшою стійкістю до дії коронного розряду великої тривалості; при цьому оптимальний вміст сажі становить 0,5-2,5 %;

2) збільшення вмісту сажі не знизило водовідштовхувальних властивостей, що визначаються за збільшення маси після зволоження в дистильованій воді;

3) зразки, що містять 1,25-2,5 % низькомолекулярної кремнієорганічної рідини 119-215, за своїми гідрофобними властивостями (вологовбиранням) лише незначно поступаються зразкам, що містять 3,5-4 % низькомолекулярної кремнієорганічної рідини 119-215.

4) З метою підвищення трекінгоерозійної стійкості покриття в якості антипірину до його складу вводять і гідрат окису алюмінію  $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ . Він має більшу розчинність в "Сольвенті нафтовому", ніж діоксид титану, що значно полегшує приготування гідрофобізуючої композиції в "польових умовах" (безпосередньо на території об'єкта гідрофобізації).

У зв'язку з вищевикладеним, було прийнято рішення для приготування гідрофобного покриття використовувати кремнієорганічний компаунд на основі силіконового низькомолекулярного каучуку марки СКТН, наповнювача і отверджувача, причому як наповнювач використовують як твердий наповнювач у вигляді гідрату окису алюмінію і сажі ацетиленової, так і рідкий наповнювач у вигляді низькомолекулярної кремнієорганічної рідини 119-215, а як отверджувач використовують метилтриацетоксисилан. При цьому використовують кремнієорганічний компаунд, який на 100,0 мас. ч. каучуку містить гідрат окису алюмінію в кількості 5,0-15,0 мас. ч., сажу ацетиленову у кількості 1,0-2,5 мас. ч., низькомолекулярну

кремнієорганічну рідину 119-215 у кількості 1,25-2,5 мас. ч., метілтріацетоксисілан в кількості 2,5-6,5 мас. ч.

Крім того, експериментально було досліджено, що саме заявляємі значення рівновеликих товщин наносимого гідрофобного кремнієорганічного покриття холодного твердіння електроізоляційної конструкції є найбільш ефективними, так як вони детермінуються у залежності від умов експлуатації електроізоляційної конструкції. В якості останніх вибирають величину максимально допустимої робочої напруги, що подається на електроізоляційну конструкцію, значення максимальної напруженості електричного поля на ділянці металевої арматури, а також СЗА і величину відносної вологості атмосфери.

Перед очищенням гідрофобізованої поверхні електроізоляційної конструкції здійснюють поділ існуючих на ній забруднень на пилоподібні, такі, що не цементуються і такі, що не цементуються, а також визначають наявність їх зволоження. Після цього, при наявності зволоження існуючих забруднень, здійснюють підсушування гідрофобізованої поверхні, причому очищення гідрофобізованої поверхні від існуючих забруднень проводять без видалення цементуючих забруднень, що також прискорює процес гідрофобізації.

Далі наносять на гідрофобізовану поверхню один або кілька шарів гідрофобного покриття. Наслідком вищевказаного є підвищення надійності та збільшення терміну служби одержуваного вулканізованого гідрофобного покриття, а також електроізоляційної конструкції в цілому.

Це сприяє забезпеченню високих значень розрядних напруг при роботі електроізоляційної конструкції в умовах забруднення різного ступеня (для районів від 2 до 4 СЗА) і зволоження  $w$  (від 20 % до 100 % відносної вологості) при витримуваних робочих напругах класу від 6 кВ до 750 кВ і терміні служби не менше 10 років при експлуатації в умовах перепаду температур від мінус 60 °C до плюс 65 °C.

Так, згідно заявленого технічного рішення, товщину гідрофобного покриття на поверхні електроізоляційної вибирають в діапазоні 80-800 мкм. Було встановлено, що при зменшенні товщини гідрофобного покриття на поверхні електроізоляційної конструкції менше за 80 мкм не забезпечуються високі значення розрядних напруг при роботі електроізоляційної конструкції в умовах забруднення різного ступеня і зволоження. У той же час перевищення товщини більше 800 мкм є недоцільним з огляду на більш, ніж одноразовий "запас" ізоляційних властивостей конструкції при витримуваних розрядних напругах класу від 6 кВ до 750 кВ, а також внаслідок перевитрати гідрофобного покриття при покритті їм гідрофобізованої поверхні електроізоляційної конструкції.

Таким чином, зазначений діапазон товщин 80-800 мкм зменшує ймовірність перекриття гірлянди в забрудненому і зволоженому стані, а також підвищує надійність експлуатації гірлянд ізоляторів при атмосферних і промислових забрудненнях при витримуваних розрядних напругах класу від 6 кВ до 750 кВ.

Експериментальним шляхом було встановлено, що товщину наносимого на електроізоляційну конструкцію гідрофобного шару збільшують пропорційно величині забруднення атмосфери, переважно від 2-ї до 4-ї СЗА, величині її відносної вологості  $w$ , що знаходиться в межах 20-100 %, величині максимально допустимої робочої напруги, подається на електроізоляційну конструкцію, яка знаходиться в межах 6-750 кВ, а також визначеному експериментально значенню максимальної напруженості електричного поля біля основи металевої арматури.

Особливо слід зупинитися на розгляді аспектів чистки і обмивання зовнішньої ізоляції електроізоляційних конструкцій, які є одним з істотних ознак розробленого технічного рішення. Одним з методів, спрямованих на підвищення експлуатаційної надійності електроізоляційних конструкцій, є періодичне проведення профілактичних заходів, що проводяться на ізоляції діючих енергооб'єктів, пов'язаних або з повним або частковим видаленням забруднень з її поверхні, або з нанесенням на неї різних захисних покриттів.

Цей напрямок найбільш раціонально при важких умовах експлуатації замість значного посилення ізоляції, що вимагає збільшення її габаритів і вартості. Широкий вибір наявних в даний час профілактичних методів і засобів дозволяє гнучко реагувати на зміну умов експлуатації.

Чистка ізоляції (повне або часткове видалення забруднень) може проводитися вручну, стисненим повітрям і обмиванням водою. Найпоширенішим методом очищення до теперішнього часу залишається ручне протирання ізоляції ганчір'ям, ганчірками і т.п. Для полегшення видалення забруднень (в залежності від його типу) ганчір'я або ганчірки змочують 10 % розчином соляної кислоти, розчинниками типу бензин або гас, водою з присадкою миючих засобів і паст, ізопропіловим спиртом, чотирихлористим вуглецем і ін.

При сильній цементації шару забруднення для очищення іноді додатково доводиться застосовувати металеві щітки, сталеву стружку або розчини і пасти, що містять агресивні компоненти. Однак застосування таких засобів призводить до поступового руйнування глазурі і виходу ізоляторів з ладу. Іноді очищення ізоляторів від забруднень, що сильно цементуються, виявляється настільки складним, що в експлуатації їх воліють не чистити, а періодично замінювати на нові. Крім того, ручна чистка вимагає відключення напруги під час проведення робіт і значних трудовитрат.

Досить ефективним засобом показало себе очищення ізоляції стисненим повітрям із застосуванням абразивних матеріалів, наприклад, очищення стиснутим повітрям з додаванням меленого доломіту і карбонату кальцію. У той же час при повному знятті цементуючих забруднень абразивом частково пошкоджується глазур, що є суттєвим недоліком цього методу.

Метод обмивання водою є ефективним способом очищення ізоляції від забруднень, що мають слабку адгезію з поверхнею ізолятора або розчинних у воді. У порівнянні з ручною очисткою він має більшу продуктивність і дозволяє в ряді випадків проводити роботи на невідключеному обладнанні. При обмивання ізоляторів можуть бути використані струмені води з різною структурою: суцільний, переривчастий або розпорошений.

Безперервний струмінь має велику кінетичну енергію і дозволяє прискорити процес очищення, а при наявності розпилення підвищуються діелектричні властивості струменя, однак при цьому процес обмивки ускладнюється. Для обмивання ізоляції водою можуть використовуватися струмені як високого (1,5-2,5 МПа і навіть 7 МПа), так і низького (0,5-1 МПа) тиску. Обмивання струменями високого тиску вимагає меншої витрати води, але пред'являє більш серйозні вимоги до обмивального обладнання.

Найбільше часто метод обмивання застосовують для видалення із зовнішньої ізоляції сольових забруднень поблизу морських узбереж і на солончакових ґрунтах, а також для видалення з ізоляторів пилу, кіптяви, сажі, поблизу промислових підприємств, у тому числі хімічних.

Проте його широкому впровадженню перешкоджає небезпека перекриття ізоляторів. Під час обмивання під напругою струмки води можуть шунтувати повітряні проміжки між ребрами, що часто призводило до перекриття обмиваних об'єктів. При проведенні обмивання під напругою повинні бути забезпечені умови, що виключають перекриття по струменю води і ураження оператора струмом.

Крім того, недоліками методу обмивання водою є неможливість його застосування для зняття забруднень, що сильно цементуються, використання спеціального обладнання, значна витрата води, а в холодну пору року - необхідність або підігрівати воду, або додавати до неї непровідний антифриз.

В даний час для зняття забруднень (у тому числі цементуючих) розроблена технологія механізованої чистки-мийки підстанції ізоляції на основі аерозольного газодинамічного методу очищення. Її сутність полягає в напрямку струменя мийного розчину (що містить абразивні частинки) під тиском на поверхню, що очищається. Це дозволяє поєднувати достоїнства обмивання ізоляторів і механічного впливу абразивних часток на шар забруднення. Однак при цьому методі можливе пошкодження раніше нанесеного гідрофобного покриття внаслідок впливу абразивних часток.

Тому пропонується спосіб, згідно з яким перед очищенням гідрофобізуємої поверхні електроізоляційної конструкції здійснюють поділ існуючих на ній забруднень на пилоподібні, такі, що не цементуються, і які цементуються, а також визначають наявність їх зволоження, після чого, при наявності зволоження існуючих забруднень, здійснюють підсушування гідрофобізованої поверхні, при цьому очистку гідрофобізованої поверхні від існуючих забруднень проводять без видалення цементуючих забруднень, є ефективним і не сприяє пошкодженню раніше нанесеного гідрофобного покриття.

Відповідно до пропонуваного технічного рішення, найбільш ефективний діапазон товщин покриття, детерміновано обраний в залежності від умов експлуатації електроізоляційної конструкції, а також покращені умови очищення і "самоочищення" дозволяють при проведенні профілактичних заходів виключити роботи по зняттю "старого" шару покриття перед нанесенням "нового", і забезпечують ефективну експлуатацію покриття без проведення додаткових профілактичних заходів по його очищенню і видаленню.

Суть технічного рішення пояснюється за допомогою фіг. 1-18, де на фіг. 1 зображена електроізоляційна конструкція у вигляді опорно-стрижневого ізолятора; на фіг. 2 показана електроізоляційна конструкція у вигляді двох послідовно розміщених опорно-стержневих ізоляторів; на фіг. 3 показана залежність розподілу напруженості електричного поля  $E$  (кВ/см) уздовж поздовжньої осі опорно-стрижневого ізолятора; на фіг. 4 показаний процес

гідрофобізації зовнішньої ізоляції обмежувачів перенапруги; на фіг. 5 показаний процес гідрофобізації високовольтних вводів з робочою напругою 330 кВ; на фіг. 6 показано горіння дуги на поверхні вулканізованого покриття при силі струму 10 мА; на фіг. 7 показано стан цієї поверхні покриття після 1 хв. її впливу при силі струму 10 мА; на фіг. 8 показаний характер горіння дуги при силі струму 50 мА; на фіг. 9 показано стан поверхні покриття, що піддалося впливу сили струму 50 мА, після відключення напруги; на фіг. 10 показано горіння продуктів деструкції покриття в каналі дуги перед її згасанням; на фіг. 11 зображений вид поверхні покриття після згасання горіння продуктів деструкції покриття в каналі дуги; на фіг. 12 зображений вид поверхні покриття після видалення обугленого поверхневого шару в місцях, де не було згасання дуги; на фіг. 13 зображений вид поверхні покриття після видалення обугленого поверхневого шару в місцях, де було згасання дуги; на фіг. 14 схематично показаний механізм появи і розвитку трекінгу; на фіг. 15 показаний характер змочуваності гідрофобізованої поверхні ізолятора, який характеризується величиною крайового кута змочування  $\alpha \geq 60^\circ$ ; на фіг. 16 показаний характер змочуваності гідрофобізованої поверхні ізолятора після 2-х років експлуатації в районі цементного комбінату, який характеризується величиною крайового кута змочування  $\alpha = 179^\circ$ ; на фіг. 17 показана змочуваність поверхні покриття після 10 хв. припинення дії коронного розряду (права крапля на поверхні є контрольною і знаходиться поза областю впливу); на фіг. 18 показана змочуваність поверхні покриття після 60 хв. впливу коронного розряду (права крапля на поверхні є контрольною і знаходиться поза області дії).

Електроізоляційна конструкція з гідрофобним покриттям виконана у вигляді як мінімум одного ізолятора 1. Ізолятор 1 містить ізоляційну деталь, що складається зі стовбура 2 з ребрами 3 на бічній поверхні, з'єднану по обох кінцях з металевою арматурою, виконаною, наприклад, у вигляді фланців 4, за допомогою затверділої цементно-піщаної зв'язки 5. Зовнішні бічні поверхні металевої арматури 4 з основою 6 і вершиною 7, а також зовнішня поверхня ізоляційної деталі покриті гідрофобним покриттям. На фіг. 1-2 позначена  $H_{\text{ст}}$  - будівельна висота.

Електроізоляційна конструкція виконана з рівною товщиною гідрофобного покриття на різних ділянках її зовнішньої поверхні. Ділянка (I), уздовж якого спостерігаються найбільші значення напруженості, позначена на фіг. 1-2 пунктирною лінією.

Електроізоляційна конструкція складається з одного або більше ізоляторів, з'єднаних один з одним паралельно (на фіг. 1-3 не показано) або послідовно. При цьому ізоляційна деталь виконана з порцеляни або скла і складається зі стовбура у формі тіла обертання, виконаного у вигляді суцільного або полого стержня циліндричної або конічної форми.

Гідрофобне покриття в вулканізованому стані характеризується терміном служби, що становить не менше 10 років, при експлуатації в умовах перепаду температур від мінус  $60^\circ \text{C}$  до плюс  $65^\circ \text{C}$  і робочій напрузі 6-750 кВ.

Так як гідрофобізація зовнішньої ізоляції в більшості випадків здійснюється на діючих енергооб'єктах, тобто в польових умовах, процес приготування гідрофобної композиції повинен бути максимально простим, і в той же час забезпечувати з достатньою точністю співвідношення компонентів (оптимальність складу).

Внаслідок цього шукане гідрофобне покриття містить силіконовий низькомолекулярний каучук, наповнювач і отверджувач. Причому як силіконовий низькомолекулярний каучук гідрофобне покриття містить каучук марки СКТН, в якості наповнювача воно містить як твердий наповнювач у вигляді гідрату окису алюмінію і сажі ацетиленової, так і рідкий наповнювач у вигляді низькомолекулярної кремнієорганічної рідини 119-215, як отверджувач гідрофобне покриття містить метилтриацетоксисилан або К-10 С.

При цьому гідрофобне покриття містить на 100,0 мас. ч. каучуку гідрат окису алюмінію в кількості 5,0-15,0 мас. ч., сажу ацетиленову в кількості 0,5-2,5 мас. ч., низькомолекулярну кремнієорганічну рідину 119-215 у кількості 1,25-2,5 мас. ч., метилтриацетоксисилан або К-10 С в кількості 2,5-6,5 мас. ч.

Наведені на фіг. 3 показана залежність розподілу напруженості електричного поля  $E$ , кВ/см, починаючи від вершини 7 металевого фланця 4, уздовж поздовжньої осі опорно-стрижневого ізолятора 1, можна помітити, що вищевказана залежність є експоненціально спадною, причому в зоні від основи фланця, що безпосередньо контактує з джерелом високої напруги, до вершини третього ребра, напруженість електричного поля  $E$  складає від 2 кВ/см до 11 кВ/см. Це призводить до виникнення коронування і появи поверхневих часткових розрядів в умовах забруднення і зволоження.

При цьому в зоні максимальної напруженості, а саме біля вершини 7 металевого фланця 4, товщина наносимого гідрофобного покриття є максимальною, що, крім СЗА, величини відносної

вологості атмосфери і величини максимально допустимої робочої напруги, яка подається на електроізоляційну конструкцію, є одним з головних факторів, що детермінують при виборі оптимальної товщини гідрофобного покриття. Крім того, дослідження стійкості до тривалого впливу коронного розряду на силосанові полімерні матеріали показали, що процеси деструкції протікають на обмеженій області поверхні з високими значеннями напруженості електричного поля  $E$ . Розроблений спосіб реалізується наступним чином.

Вибирають згідно ГОСТ або нормативної документації (наприклад, згідно з Інструкцією з експлуатації ізоляції електроустановок в районах із забрудненою атмосферою РД 34.51.503-93) величину максимально допустимої робочої напруги  $U_{\text{раб.}}$ , що подається на електроізоляційну конструкцію, на підставі чого визначають початкову товщину  $h_0$  гідрофобного покриття, а саме прямо пропорційно цій напрузі. Тобто  $U_{\text{раб.}}$  знаходиться в межах від 6 кВ до 750 кВ, відповідно  $h_0$  знаходиться в межах від  $(70 \pm 10)$  мкм до  $(790 \pm 10)$  мкм.

Після цього визначають значення максимальної напруженості електричного поля  $E_{\text{max}}$  на ділянці металевої арматури (див. фіг. 3) і коректують значення попередньо вибраної товщини  $h_0$  з урахуванням  $E$  в сторону збільшення, отримуючи значення  $h_E$ , тобто  $h = h_0 \pm h_E$ . Далі отримане значення  $h$  збільшують в залежності від СЗА (наприклад, для кожного класу СЗА, понад 2-й і до 4-го включно, додатково на 2 %, отримуючи значення  $h_{\text{СЗА}}$ ) і величини відносної вологості атмосфери  $w$  (для значення вологості  $w$ , понад 20 %, додатково на 1 % на кожні цілі 10 % значення вологості  $w$ , отримуючи значення  $h_w$ ). Отримане таким чином остаточне значення товщини  $h = h_0 \pm h_E + h_{\text{СЗА}} + h_w$ , яке знаходиться в межах  $(80-800)$  мкм, використовують при розрахунку кількості шарів наносимого гідрофобного покриття.

Після цього здійснюють очистку гідрофобізованої поверхні. При цьому перед очищенням гідрофобізованої поверхні електроізоляційної конструкції здійснюють, як правило, візуальне розділення існуючих на ній забруднень на такі, що не цементуються такі, що цементуються, а також визначають наявність їх зволоження тактильно або візуально, а також шляхом вимірювання їх електричного опору, наприклад, за допомогою мегомметра на 2,5 кВ.

Далі, при наявності зволоження існуючих забруднень, здійснюють підсушування гідрофобізованої поверхні, причому очищення гідрофобізованої поверхні від існуючих забруднень здійснюють або пневматичним (стиснене повітря), або гідравлічним (водний струмінь) шляхом, без видалення цементуючих забруднень.

Для нанесення використовують гідрофобне покриття, яке в вулканізованому стані характеризується величиною крайового кута змочування в межах від  $60^\circ$  до  $179^\circ$ , трекінгоерозійною стійкістю при тривалості впливу, що становить не менше 500 год. при робочих напругах 6-750 кВ, а також величиною дугостійкості, яка характеризується значенням струму дуги не менше 100 мА при тривалості впливу не менше 600 с.

Потім наносять на гідрофобізовану поверхню один або кілька шарів вищевказаного гідрофобного покриття, товщину  $h$  якого вибирають, як було зазначено вище.

Нанесення шару гідрофобного покриття на гідрофобізовану поверхню електроізоляційної конструкції здійснюють ручним або механізованим способом. У другому випадку (див. фіг. 4 і фіг. 5) нанесення шару гідрофобного покриття здійснюють шляхом розпилення з використанням джерела стисненого повітря, що забезпечує витрату не менше  $15 \text{ м}^3/\text{ч}$  при тиску стислого повітря не менше 0,15 МПа. При цьому розпилення здійснюють при відстані від зрізу сопла розпилювача до поверхні, що покривається, від 100 мм до 600 мм. Вищевказані параметри реалізації способу сприяють як зменшенню витрат матеріалів у зв'язку зі зменшенням втрат при розпилюванні, так і максимальному збільшенню продуктивності нанесення покриття.

Таким чином, перевагою розробленого способу в порівнянні з аналогами є підвищення надійності та збільшення терміну служби наносимого завулканізованого гідрофобного покриття, оптимізація процедури, в т.ч. часу його нанесення залежно від стану і типу забруднень, а також експлуатаційних факторів високовольтної ізоляції, що приводить також до підвищення вологорозрядних напруг високовольтної ізоляції протягом всього тривалого терміну її експлуатації.

Так, наприклад, результати проведених випробувань електроізоляційних конструкцій, отриманих за допомогою заявлюваного технічного рішення, на допустиму робочу напругу і напруженість електричного поля підтверджують зниження вірогідності перекриття гірлянд ізоляторів в результаті забруднення щонайменше на 15-20 %.

Всі випробувані гідрофобізовані ізолятори витримали випробування на трекінгоерозійну стійкість (при тривалості випробувань більше 500 год.) і можуть експлуатуватися в районах з високим рівнем забруднення атмосфери до 4-ї СЗА включно, величиною відносної вологості атмосфери в межах 20-100 %, величині максимально допустимої робочої напруги, що подається на електроізоляційну конструкцію, в межах 6-750 кВ.

Крім того, амплітуди основних струмів витоку через гідрофобізовані ізолятори були в 1,5-2 рази менше, ніж через ізолятори без покриття. У реальних умовах експлуатації ця величина буде ще більше, тому що поверхня кремнієорганічних полімерних покриттів забруднюється значно менше. Крім цього, одержуване гідрофобне покриття зазначеного складу у вулканізованому стані має поліпшені (як мінімум на 15-20 %) експлуатаційні властивості у порівнянні з відомими покриттями.

Оптимізація процедури реалізації способу в залежності від умов навколишнього середовища дозволяє вибирати раціональні режими роботи електроізоляційних конструкцій і знизити втрати витратних матеріалів при гідрофобізації їх поверхні.

Ефективність застосування розробленого способу в частині технології нанесення гідрофобного покриття на основі кремнієорганічного компаунда холодного твердіння механізованим способом підтверджується більш ніж 15-ти річним позитивним досвідом його застосування на підстанціях, розташованих в зонах з інтенсивними промисловими забрудненнями.

У той же час найбільш ефективна товщина покриття, детерміновано вибрана в залежності від умов експлуатації електроізоляційної конструкції, а також покращені умови очищення і "самоочищення" гідрофобізованої поверхні дозволяють при проведенні профілактичних заходів виключити роботи по зняттю "старого" шару покриття перед нанесенням "нового" і забезпечують ефективну експлуатацію покриття без проведення додаткових профілактичних заходів протягом не менше 10 років.

Джерела інформації:

1. Ким Ен Дар, Пономарев П.Е. Опыт эксплуатации кремнийорганического покрытия холодного отверждения на подстанциях энергосистем Украины//Электрические сети и системы.-2006. - №3. - С. 32-35.

2. Мерхалев С.Д., Соломоник Е.А. Влияние конфигурации изоляторов на выбор длины гирлянды ВЛ // Электрические станции. -1968. - № 7. - С. 89-93.

3. Ravi S.G. RTV Silicone Rubber Coatings for Ceramic Insulators. Present Knowledge and Future Requirements // 2001 World Insulator Congress, Shanghai, China, November 18-21-Shanghai. - 2001. - P. 361-368.

4. Инструкция по эксплуатации изоляции электроустановок в районах с загрязненной атмосферой РД 34.51.503-93. Утверждена Департаментом науки и техники РАО "ЕЭС России" 27.09.93. Срок действия установлен с 01.04.94 г.

5. Неруш Л.С. Опыт эксплуатации изоляции оборудования подстанций в зоне загрязнения промышленными уносами // Энергетика и электрификация.-1989. - № 3. С. 37-38.

6. Андриевский В.Н., Голованов А.Т., Зеличенко А.С. Эксплуатация воздушных линий электропередачи. - М, Энергия, 1976. - 616 с.

7. Мерхалев С.Д., Соломоник Е.А. Влияние конфигурации изоляторов на выбор длины гирлянды ВЛ // Электрические станции.-1968. - № 7. - С. 89-93.

8. Агафонов В.М., Панасюк Д.И. Опыт эксплуатации изоляции в условиях загрязненной атмосферы // Энергетик. 1986. - № 7. - С. 22-23.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Спосіб нанесення рівнотовщинного гідрофобного покриття на електроізоляційну конструкцію, що полягає в очищенні її зовнішньої поверхні від існуючих забруднень з подальшим нанесенням на очищену зовнішню поверхню гідрофобного покриття однакової товщини, наприклад, на основі одно - або двопакувального кремнієорганічного компаунда холодного твердіння, рідкого або пастоподібного в початковому стані, містить силіконовий низькомолекулярний каучук, наповнювач, а також отверджувач, який **відрізняється** тим, що гідрофобне покриття наносять по всій поверхні електроізоляційної конструкції з товщиною в межах 80-800 мкм, що визначається залежно від умов експлуатації електроізоляційної конструкції, при цьому використовують гідрофобне покриття, яке у вулканізованому стані характеризується величиною крайового кута змочування в межах від 60° до 179°, трекінгоерозійною стійкістю при тривалості випробувань, що становить не менше 500 год. при робочих напругах 6-750 кВ, а також величиною дугостійкості, яка характеризується значенням струму дуги не менше 100 мА при тривалості впливу не менше 600 с

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що як умови експлуатації електроізоляційної конструкції вибирають величину максимально допустимої робочої напруги, що подається на електроізоляційну конструкцію, значення максимальної напруженості електричного поля, а також ступінь забруднення атмосфери і величину її відносної вологості.

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що товщину наносимого на електроізоляційну конструкцію гідрофобного шару збільшують пропорційно ступеню забруднення атмосфери, переважно від другого до четвертого ступеня, величині її відносної вологості, що знаходиться в межах 20-100 %, величині максимально допустимої робочої напруги, що подається на електроізоляційну конструкцію, яка знаходиться в межах 6-750 кВ, а також визначеному експериментально значенню максимальної напруженості електричного поля біля основи металевої арматури.

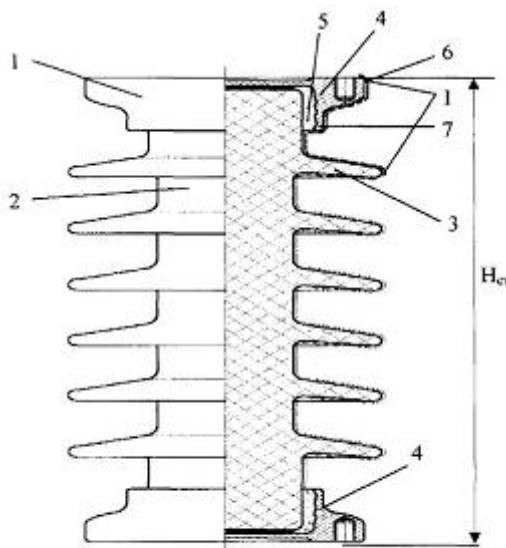
4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що використовують кремнієорганічний компаунд на основі силіконового низькомолекулярного каучуку марки СКТН, наповнювача і отверджувача, причому як наповнювач використовують як твердий наповнювач у вигляді гідрату окису алюмінію і сажі ацетиленової, так і рідкий наповнювач у вигляді низькомолекулярної кремнієорганічної рідини 119-215, а як отверджувач використовують метилтриацетоксисилан, при цьому використовують кремнієорганічний компаунд, який на 100,0 мас. ч. каучуку містить гідрат окису алюмінію в кількості 5,0-15,0 мас. ч., сажу ацетиленову в кількості 0,5-2,5 мас. ч., низькомолекулярну кремнієорганічну рідину 119-215 у кількості 1,25-2,5 мас. ч., метилтриацетоксисилан в кількості 2,5-6,5 мас. ч.

5. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що перед очищенням гідрофобізованої поверхні електроізоляційної конструкції від забруднень визначають наявність її зволоження, при наявності якого здійснюють підсушування гідрофобізованої поверхні разом із забрудненнями, потім проводять очистку сухої гідрофобізованої поверхні тільки від забруднень, що не цементуються, шляхом використання джерела стисненого повітря, що забезпечує тиск не менше 0,4 МПа, після чого наносять на неї один або кілька шарів гідрофобного покриття.

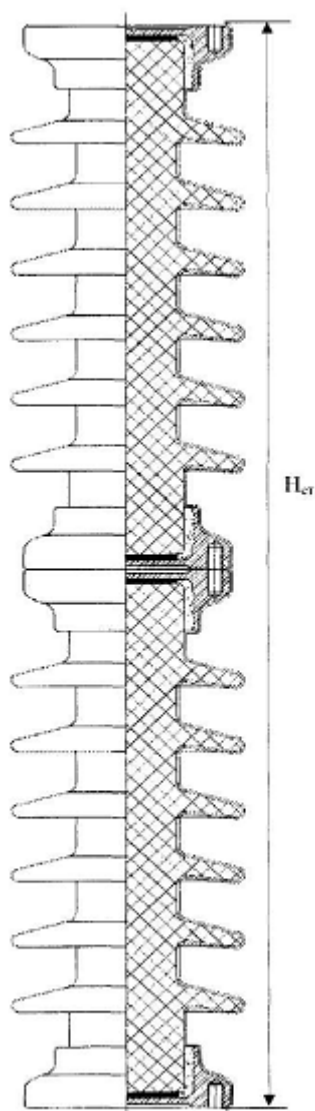
6. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що наявність зволоження існуючих на гідрофобізованій поверхні забруднень визначають тактильно або візуально, а також шляхом вимірювання їх електричного опору.

7. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що здійснюють ручне нанесення шару гідрофобного покриття на гідрофобізовану поверхню електроізоляційної конструкції.

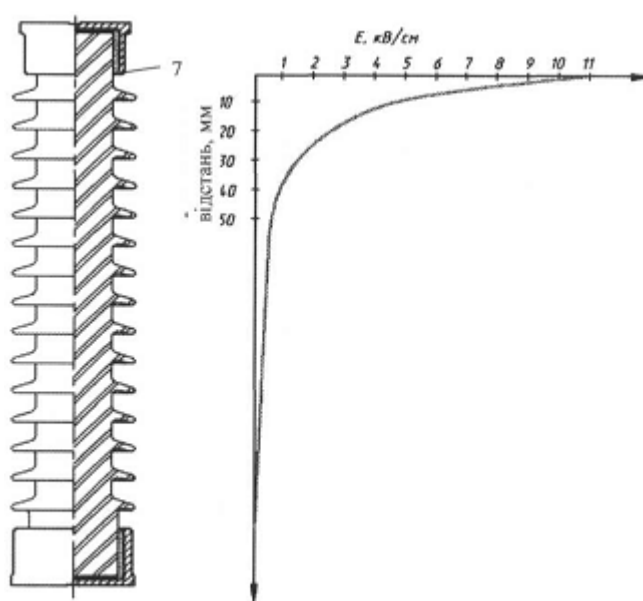
8. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що здійснюють механізоване нанесення шару гідрофобного покриття на гідрофобізовану поверхню електроізоляційної конструкції шляхом розпилення з використанням джерела стисненого повітря, що забезпечує витрату не менше 15 м<sup>3</sup>/ч при тиску не менше 0,15 МПа, при цьому розпилення здійснюють при відстані від зрізу сопла розпилювача до покриваної поверхні від 100 мм до 600 мм при швидкості переміщення сопла діаметром 1,6-2,7 мм уздовж гідрофобізованої поверхні електроізоляційної конструкції, що становить не менше 0,15 м/с.



Фіг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3





Fig. 4

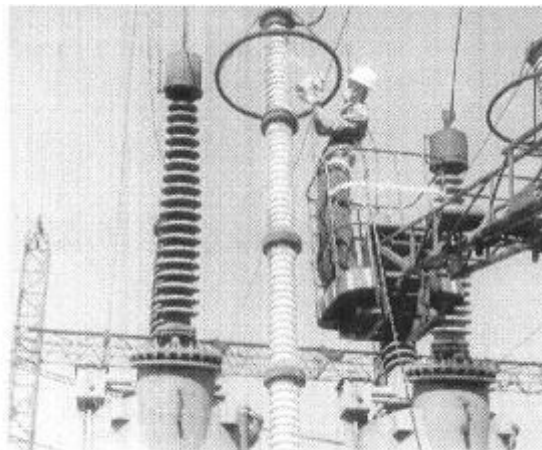


Fig. 5

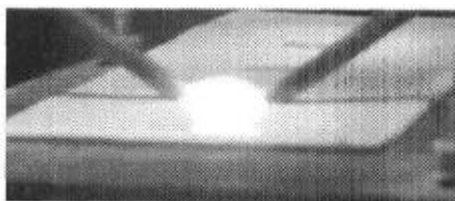


Fig. 6



Fig. 7

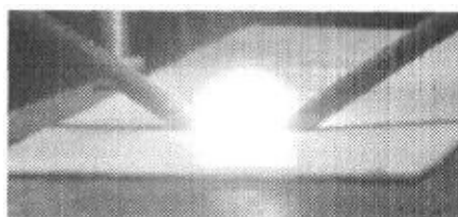


Fig. 8



Fig. 9



Fig. 10

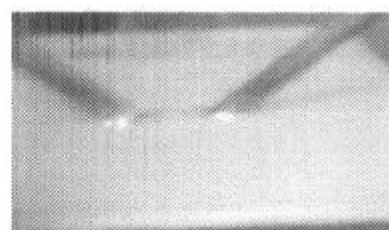


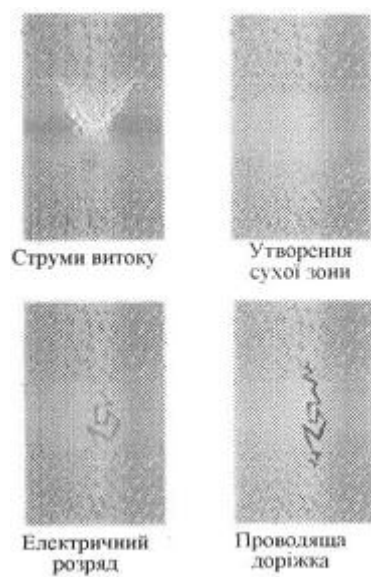
Fig. 11



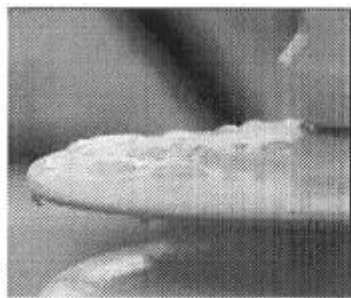
Fig. 12



Fig. 13



**Fig. 14**



**Fig. 15**



**Fig. 16**



**Fig. 17**



**Fig. 18**

---

Комп'ютерна верстка Д. Шеверун

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601