

**УКРАЇНА**

(19) **UA** (11) **75373** (13) **U**  
(51) МПК (2012.01)  
**H01B 17/02** (2006.01)  
**H01B 17/50** (2006.01)  
**H01B 19/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

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

<b>(21)</b> Номер заявки: <b>u 2012 06706</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Таран Володимир Миколайович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>31.05.2012</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ИНВЕСТ- ЕНЕРГО",</b> ул. Угрешская, 2, стр. 6, г. Москва, 115088 (RU)
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>26.11.2012</b>	<b>(74)</b> Представник: <b>Колосов Олександр Євгенович, реєстр. №269</b>
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>26.11.2012, Бюл.№ 22</b>	

**(54) СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ВОЛОГОРОЗРЯДНОЇ НАПРУГИ ВИСОКОВОЛЬТНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ****(57) Реферат:**

Спосіб підвищення вологорозрядної напруги високовольтної ізоляції полягає в нанесенні на зовнішню поверхню електроізоляційної конструкції гідрофобного покриття на основі кремнієорганічного компаунда холодного твердіння на основі силіконового низькомолекулярного каучуку, наповнювача у вигляді гідрату окису алюмінію і отверджувача або каталізатора, при якому вищезгаданий компаунд перед нанесенням на гідрофобізовану поверхню змішують з низькомолекулярною кремнієорганічною рідиною, після чого отриману суміш розбавляють органічним розчинником, за який використовують, наприклад, сольвент нафтовий, при цьому перед нанесенням гідрофобного покриття здійснюють очистку гідрофобізованої поверхні високовольтної ізоляції від існуючих на ній забруднень. В компаунд перед змішуванням з низькомолекулярною кремнієорганічною рідиною додатково вводять твердий наповнювач у вигляді сажі ацетиленової, як отверджувач використовують метилтриацетоксисилан, як силіконовий низькомолекулярний каучук використовують каучук марки СКТН, як низькомолекулярну кремнієорганічну рідину використовують кремнієорганічну рідину марки 119-215, при цьому використовують компаунд, який на 100,0 мас.ч. каучуку містить низькомолекулярну кремнієорганічну рідину в кількості (1,25-2,5) мас.ч., гідрат окису алюмінію в кількості (5-15,0) мас.ч., сажу ацетиленову у кількості (0,5-2,5) мас.ч., а також твердник у кількості (2,5-6,5) мас.ч., причому перед нанесенням гідрофобного покриття визначають наявність зволоження існуючих на електроізоляційній конструкції забруднень, після чого, за наявності такого зволоження, здійснюють підсушування гідрофобізованої поверхні електроізоляційної конструкції разом з існуючими на ній забрудненнями, і потім здійснюють очистку сухої гідрофобізованої поверхні тільки від забруднень, що не цементуються.

**UA 75373 U**



Корисна модель належить до високовольтної техніки і може бути використана для посилення поверхневої електричної міцності зовнішньої ізоляції, що працює в умовах забруднення.

Відомий спосіб підвищення вологорозрядних властивостей і електричної міцності електроізоляційної конструкції, вибраний як аналог, шляхом нанесення на її поверхню гідрофобних покриттів (ГП) у вигляді кремнієорганічних паст [1].

Недоліком цього способу 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 аналог вибраний спосіб підвищення вологорозрядних властивостей і електричної міцності електроізоляційної конструкції шляхом попередньої очистки її зовнішньої поверхні від існуючих забруднень з подальшим нанесенням на цю поверхню ГП у вигляді кремнієорганічних еластомерів, які утворюють на поверхні ізолятора тверду захисну плівку [2]. Недоліком способу аналога є недостатня надійність і термін служби наносимого ГП, одержуваного при його реалізації, 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.

Як найбільш близький аналог (прототип) вибраний спосіб підвищення вологорозрядної напруги високовольтної ізоляції, який полягає в нанесенні на поверхню ізоляції ГП на основі кремнієорганічного компаунда (КОК) холодного твердіння з наповнювачем діоксидом титану, при якому вищезгаданий компаунд перед нанесенням розбавляють органічним розчинником, причому перед розведенням кремнієорганічного компаунда органічним розчинником останній змішують з низькомолекулярною кремнієорганічною рідиною і додатковим наповнювачем, а саме гідратом окису алюмінію. При цьому як органічний розчинник використовують розчинник "Сольвент нафтовий", вагове співвідношення між компаундом і низькомолекулярною кремнієорганічною рідиною становить 1: (0,015-0,02), а вагове співвідношення між компаундом і гідратом окису алюмінію становить 1: (0,07-0, 1) [3].

Недоліком способу найближчого аналога є недостатня надійність і термін служби наносимого ГП внаслідок відсутності оптимального співвідношення його компонентів, а також через неврахування типу і стану забруднень на гідрофобізованій поверхні, наслідком чого є неможливість досягнення при конкурентних товщинах максимально можливих значень витримуваних робочих напруг, а також необхідність періодичної заміни електроізоляційної конструкції.

Технічною задачею корисної моделі є підвищення надійності та збільшення терміну служби завулканізованого гідрофобного покриття шляхом ефективного вибору та встановлення оптимального співвідношення компонентів наносимого гідрофобного покриття, шляхом врахування типу і стану забруднень на гідрофобізованій поверхні електроізоляційної конструкції, а також шляхом оптимізації процедур реалізації способу, що приведе також до підвищення вологорозрядної напруги високовольтної ізоляції протягом всього тривалого терміну її експлуатації.

Поставлена технічна задача вирішується тим, що у способі підвищення вологорозрядної напруги високовольтної ізоляції, що полягає в нанесенні на зовнішню поверхню електроізоляційної конструкції гідрофобного покриття на основі кремнієорганічного компаунда холодного твердіння на основі силіконового низькомолекулярного каучуку, наповнювача у вигляді гідрату окису алюмінію і отверджувача або каталізатора, при якому вищезгаданий компаунд перед нанесенням на гідрофобізовану поверхню змішують з низькомолекулярною кремнієорганічною рідиною, після чого отриману суміш розбавляють органічним розчинником, за який використовують, наприклад, сольвент нафтовий, при цьому перед нанесенням гідрофобного покриття здійснюють очистку гідрофобізованої поверхні високовольтної ізоляції від існуючих на ній забруднень, новим є те, що в компаунд перед змішуванням з низькомолекулярною кремнієорганічною рідиною додатково вводять твердий наповнювач у вигляді сажі ацетиленової, як отверджувач використовують метилтриацетоксисилан, як силіконовий низькомолекулярний каучук використовують каучук марки СКТН, як низькомолекулярну кремнієорганічну рідину використовують кремнієорганічну рідину марки 119 - 215, при цьому використовують компаунд, який на 100,0 мас.ч. каучуку містить низькомолекулярну кремнієорганічну рідину в кількості (1,25-2,5) мас.ч., гідрат окису алюмінію в кількості (5-15,0) мас.ч., сажу ацетиленову у кількості (0,5-2,5) мас.ч., а також твердник у кількості (2,5-6,5) мас.ч., причому перед нанесенням гідрофобного покриття визначають

наявність зволоження існуючих на електроізоляційній конструкції забруднень, після чого, за наявності такого зволоження, здійснюють підсушування гідрофобізованої поверхні електроізоляційної конструкції разом з існуючими на ній забрудненнями, і потім здійснюють очистку сухої гідрофобізованої поверхні тільки від забруднень, що не цементуються.

5 Вагове співвідношення між кремнієорганічним компаундом і розчинником вибирають в залежності від температури навколишнього середовища, при цьому шукане вагове співвідношення на 100,0 мас.ч. каучуку складає (0,85-1,0) мас.ч. при температурі навколишнього середовища до 25 °С, і (1,05-1,4) мас.ч. при температурі навколишнього середовища понад 25 °С.

10 Нанесення гідрофобного покриття здійснюють при температурі навколишнього повітря не нижче мінус 10 °С і за відсутності атмосферних опадів, а також роси.

Очищення гідрофобізованої поверхні електроізоляційної конструкції від існуючих забруднень, що не цементуються, здійснюють вручну, або стисненим повітрям, або обмиванням водою.

15 Норму витрати наносимого шару кремнієорганічного компаунда на гідрофобізовану поверхню електроізоляційної конструкції визначають зі співвідношення

$$m = \rho \cdot S \cdot h \cdot (1 + k),$$

де  $m$  - маса наносимого кремнієорганічного компаунда, г,

$\rho$  - густина кремнієорганічного компаунда, яка становить, наприклад, 1,28 г/см<sup>2</sup>,

20  $S$  - площа гідрофобізованої поверхні електроізоляційної конструкції, см<sup>2</sup>,

$h$  - товщина гідрофобного покриття, см,

$k$  - коефіцієнт втрат, який приймають рівним 0,15-0,2.

Отримують гідрофобне покриття, яке в вулканізованому стані характеризується терміном служби, що становить не менше 10 років, при експлуатації в умовах перепаду температур від 25 мінус 60 °С до плюс 65 °С і при робочих напругах 6-750 кВ.

Перераховані вище ознаки складають суть корисної моделі.

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

30 При різних станах навколишнього середовища на зовнішній поверхні високовольтної ізоляції 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 електропровідність, що ще більше знижує ізолюючу здатність ізоляційних конструкцій. В результаті створюються умови для перекрыття ізоляторів не тільки при перенапруженнях, а й при нормальному експлуатаційному режимі.

35 Крім того, деякі види забруднень, що осідають на поверхні ізоляції, можуть вступати в хімічні реакції з ізоляційним матеріалом. Зокрема, для скла найбільш небезпечними є речовини, що утворюють при зволоженні лужні розчини. Не меншу небезпеку можуть представляти і "мокрі" провідні забруднення. Так, наприклад, у приморських районах підвищена засоленість атмосфери сприяє зниженню розрядних характеристик лінійної та підстанційної ізоляції.

40 Крім того, розчини NaCl є корозійнонебезпечними для арматури, зокрема, з чавуну і вуглецевої сталі. Тому корозія арматури відбувається набагато інтенсивніше і термін служби ізоляторів може становити лише від 2 років до 6 років.

Отже, для підвищення надійності високовольтної ізоляції в забруднених районах залишається актуальним завдання посилення зовнішньої ізоляції для забезпечення високих розрядних напруг в несприятливих умовах.

45 Запобігання умов виникненню 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, що не завжди є прийнятним. Вирішенням цієї проблеми є застосування кремнієорганічних гідрофобних покриттів (ГП).

50 Профілактичні заходи, що застосовуються в даний час в енергосистемах країн СНД (чистка і обмивання ізоляції, нанесення гідрофобних паст і вазелінів) виконуються вручну на відключеному устаткуванні, і в більшості випадків для районів з 3-м (III) - 4-м (IV) ступенем забруднення атмосфери (СЗА) не рідше 1-2 рази на рік.

55 Було встановлено, що кремнієорганічні ГП 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 способів приготування і нанесення ГП, а також вибір оптимальних співвідношень компонентів наносимої гідрофобної електроізоляційної композиції. Це, в свою чергу, не забезпечує максимально високих значень

розрядних напруг при роботі таких електроізоляційних конструкцій в умовах забруднення різного ступеня і зволоження.

Торкаючись аспекту виявлення зволоження існуючих забруднень згідно з розробленим способом, особливо слід зупинитися на фізичному механізмі перекриття забрудненої ізоляції внаслідок наявності такого зволоження.

Як відомо, на поверхні забрудненої ізоляції знаходиться шар чужорідних нашарувань. При цьому під сторонніми нашаруваннями мають бути на увазі будь-які рідкі або тверді речовини, що осіли на поверхні ізолятора суцільними шарами чи з розривами, або навіть у вигляді краплинної структури. Наявність такого зволоженого шару чужорідних нашарувань на поверхні ізолятора призводить до надзвичайно низьких розрядних градієнтів.

Очевидно, що для виникнення умов, за яких можуть відбуватися розряди при таких низьких градієнтах, розподіл напруги на поверхні ізолятора має бути надзвичайно нерівномірним. Деяка неоднорідність розподілу напруги, яка випливає з самої форми незабрудненого ізолятора, не може пояснити суть явища, так як розряди не з'являються на ізоляторі в сухому стані.

Якщо проблема розрядних характеристик ізолятора в сухому стані полягає у визначенні розподілу електромагнітного поля ізолятора, то для забруднених ізоляторів завдання зводиться до аналізу складних теплоелектричних процесів, що мають місце в зволоженому шарі чужорідних нашарувань. При цьому найважливішою причиною різкого зниження розрядних градієнтів є утворення сухих смуг на зволоженій поверхні забруднених ізоляторів.

Було встановлено, що механізм розвитку розряду вздовж забрудненої поверхні якісно відрізняється від розряду в повітрі. Процес перекриття забруднених ізоляторів складається з наступних етапів.

У вихідному 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 витоку різко зростає, досягаючи величини в десятки і навіть сотні міліампер.

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

Виділювана енергія 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.

При цьому найбільшому нагріві 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. У зазначених місцях з'являються сухі кільцеві зони з високим опором. Робоча напруга ізолятора тепер докладена 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 витоку. 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, виникає нестійкий режим горіння, що 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.

Таким чином, основне завдання вивчення фізичного механізму розряду зводиться до визначення умов, за яких часткові розряди, що виникають, стають нестійкими і подовжуються, замикаючи накоротко ізолятори в гірлянді. Наслідком вищевикладеного є реалізація аспектів детермінування зволоження забруднень в розробленому технічному рішенні, а саме: перед очищенням гідрофобізованої поверхні електроізоляційної конструкції здійснюють поділ існуючих

на ній забруднень на такі, що не цементуються, і такі, що 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

5 прискорює процес гідрофобізації.

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

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

15 Також 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.

20 Цей напрямок найбільш раціональний 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.

25 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 змочуються 10 % розчином соляної кислоти, розчинниками типу бензину або гасу, водою з присадкою м'яких засобів і паст, ізопропіловим спиртом, чотирихлористим вуглецем й ін.

30 При сильній цементзації шару забруднення для очищення іноді додатково доводиться застосовувати металеві щітки, сталеву стружку або розчини і паст, 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 на час проведення робіт і значних трудовитрат.

35 Досить ефективним засобом показало себе очищення ізоляції стисненим повітрям із застосуванням абразивних матеріалів, наприклад очищення стисненим 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.

40 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 обмиванні ізоляторів можуть бути використані струмені води з різною структурою: суцільний, переривчастий або розпорошений.

45 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

50 більш серйозні вимоги до обмивального обладнання. Найбільш часто метод обмивання застосовують для видалення із зовнішньої ізоляції солевих забруднень поблизу морських узбережжів і на солончакових ґрунтах, а також для видалення з ізоляторів пилу, кіптяви, сажі, поблизу промислових підприємств, у тому числі хімічних.

55 Проте його широкому впровадженню перешкоджає небезпека перекриття ізоляторів. Під час обмивання під напругою струмки води можуть шунтувати повітряні проміжки між ребрами, що 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.

60

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 таких, що цементуються) розроблена технологія механізованої чистки-мийки підстанції ізоляції на основі аерозольного газодинамічного методу очищення. Її суть 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 ГП внаслідок впливу абразивних частинок.

Тому пропонується спосіб, згідно з яким перед очищенням гідрофобізованої поверхні електроізоляційної конструкції здійснюють поділ існуючих на ній забруднень на такі, що не цементуються, і такі, що цементуються, а також визначають наявність їх зволоження, після чого, при наявності зволоження існуючих забруднень, здійснюють підсушування гідрофобізованої поверхні разом із забрудненнями, причому очищення підсушеної гідрофобізованої поверхні здійснюють тільки від забруднень, що не цементуються, є ефективним і не сприяє пошкодженню раніше нанесеного ГП.

Відповідно до пропонуваного технічного рішення, покращені умови очищення і «самоочищення» дозволяють при проведенні профілактичних заходів виключити роботи по зняттю «старого» шару ГП перед нанесенням «нового» і забезпечують ефективну експлуатацію покриття без проведення додаткових профілактичних заходів по його очищенню і видаленню.

Особливо слід зупинитися на обґрунтуванні оптимізації складу гідрофобної композиції. Відомо, що однопакувальні композиції, складаються, як правило, з полімеру з гідрофільними силанольними групами і взятого в надлишку відносно до гідрофільних силанольних груп метилтриацетоксисилану, який добре розчиняється у полімері. Ця заздалегідь приготовлена за відсутності води суміш достатньо стабільна в сухому середовищі, а процес структурування її відбувається тільки під впливом вологи повітря.

Тобто однопакувальні гідрофобні композиції можуть бути використані тільки на повітрі для отримання відносно тонкошарових покриттів. До недоліків таких композицій належить неможливість застосування їх в замкнутому об'ємі, в системах з обмеженим доступом повітря, для отримання товстостінних виробів, а також виділення при їх затвердінні карбонової кислоти.

У процесі затвердіння композицій утворюється плівка зшитого полімеру, що утрудняє дифузію вологи повітря в полімерну масу, що відбивається на характеристиках затверділого матеріалу. Розведення однопакувальної композиції розчинниками дозволяє регулювати в'язкість суміші, уповільнити полімеризацію в її об'ємі і отримувати на поверхні ізоляторів методом розпилення однорідні покриття потрібної товщини.

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 (тобто оптимальність складу).

Проведені дослідження показали, що при введенні до складу композиції будь-якого компонента (речовини) для поліпшення однієї з характеристик одержуваного полімерного покриття, можуть погіршуватися показники іншої його характеристики. У зв'язку з цим оптимізація складу композиції являє собою комплексну задачу, складність якої безпосередньо залежить від числа компонентів, що входять до складу покриття. Вона полягає у визначенні параметра оптимізації і впливаючих на нього факторів, виборі моделі і плану експерименту (лабораторних випробувань), проведенні випробувань, аналізу отриманих результатів та прийнятті рішення.

У першу чергу визначимо параметр оптимізації. Він повинен бути універсальним і ефективним з точки зору опису кінцевого результату, бути кількісною величиною, яка має фізичний сенс. Ця величина повинна досить легко вимірюватися або обчислюватися.

Головною властивістю полімерного покриття, призначеного для відновлення або посилення вологостійких характеристик зовнішньої ізоляції є, його гідрофобність. Гідрофобні властивості безпосередньо характеризуються величиною кута змочування поверхні  $\alpha$ . Однак одиничне вимірювання  $\alpha$  характеризує гідрофобність на малій ділянці поверхні, тому визначення усередненої гідрофобності всього об'єкта досить трудомістке завдання. Разом з тим, як показали дослідження, гідрофобність безпосередньо пов'язана зі зміною при зволоженні поверхні покриття ряду його фізичних (електроізоляційних) характеристик.

При зволоженні реальних ізоляційних конструкцій (ізоляторів) з покриттям у залежності від гідрофобності останнього (а при експлуатації ще й від забруднення) зменшується поверхневий опір  $\rho_s$  і зростає струм витoku  $I_{\text{вт}}$ . Крім того, відомо, що для виявлення дефектів в ізоляції (діелектричних матеріалах) у ряді випадків використовується вимірювання тангенсу кута діелектричних втрат  $\text{tg}\delta$ .

Силоксанові покриття холодного твердіння можна умовно представити у вигляді шару полімерного матеріалу, всередині якого є безліч повітряних включень, що утворилися внаслідок випаровування розчинника. Об'єм цих включень у багато разів менше об'єму полімерного матеріалу. При його зволоженні частина включень поблизу поверхні заповнюється водою.

Оскільки розподіл і орієнтація пор і порожнеч у покритті, наповнених вологою, можуть значною мірою коливатися під впливом таких факторів, як режим нанесення покриття, умови навколишнього середовища тощо, то при однаковій кількості поглиненої води значення діелектричної проникності  $\epsilon$  зразків одного і того ж матеріалу можуть значно відрізнятися. Крім того, зміни  $\epsilon$  досліджуваних зразків при зволоженні менш значні, ніж  $\text{tg}\delta$ , і для їх визначення потрібне точне вимірювання товщини покриття, що висуває особливі вимоги до вимірювальних приладів і якості досліджуваних зразків.

Крім того, обмежуючим параметром буде відповідність діелектричних характеристик і лугостійкості покриття після 24 годин зволоження в дистильованій воді наступним вимогам: питомий поверхневий опір  $\rho_v$  - не менше  $5 \cdot 10^{13}$  Ом $\times$ см;  $\text{tg}\delta$  - не більше 0,03;  $\epsilon$  - не більше 3,5; середня лугостійкість - не менше 180 с.

Так як оптимізованим об'єктом є гідрофобне кремнієорганічне покриття холодного твердіння, то основними факторами, що впливають на процес його утворення, і визначають його властивості, є компоненти, що входять до складу композиції, і їх кількість. Вибір шуканих компонентів був обумовлений як їх достоїнствами, так і їх недоліками з точки зору як електроізоляційних властивостей, так і технологічності одержуваної композиції (див. таблицю 1).

З вищевикладеної таблиці випливає, що з перерахованих компонентів для подальшого розгляду як оптимізуючі фактори доцільно досліджувати такі:

1. Гідрат окису алюмінію (основне призначення - збільшення лугостійкості).
2. Оксид заліза (II) (збільшення лугостійкості і короностійкості).
3. Низькомолекулярна кремнієорганічна рідина 119-215 (збільшення швидкості відновлення гідрофобності після впливу корони, зменшення водопоглинення),
4. Сажа ацетиленова (фарбування покриття, підвищення короностійкості).

Таблиця 1

Переваги і недоліки речовин, що вводяться до складу гідрофобної композиції

наповнювач	переваги	недоліки
Сажа (C)	Отримання пофарбованого покриття, можливість утворення додаткових зв'язків (збільшення механічної міцності і короностійкості)	Знижується дугостійкість і $\rho_v$ , збільшуються $\text{tg}\delta$ і $\epsilon$ .
Двоокис титану ( $\text{TiO}_2$ )	Збільшується дугостійкість	Ускладнюється процес приготування композиції. При рівних діелектричних характеристиках, по збільшенню лугостійкості значно поступається гідрату окису алюмінію.
Оксид заліза (II) ( $\text{FeO}$ )	Збільшується дугостійкість. Отримання пофарбованого покриття, можливість утворення додаткових зв'язків (збільшення механічної міцності і короностійкості)	Знижується $\rho_v$ , збільшуються $\text{tg}\delta$ і $\epsilon$ . При рівних діелектричних характеристиках, по збільшенню лугостійкості поступається гідрату окису алюмінію.
Оксид алюмінію ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	Збільшується дугостійкість.	Знижується $\rho_v$ , збільшуються $\text{tg}\delta$ і $\epsilon$ .



Гидрат окису алюмінію $Al_r(Al_2O_3 \times 3H_2O)$	Збільшується дугостійкість. У порівнянні з оксидом алюмінію при рівній лугостійкості покриття має найкращі діелектричні характеристики	Знижується $\rho_v$ , збільшуються $tg\delta$ і $\epsilon$ .
Низькомолекулярна кремнійорганічна рідина 119-215 (K)	Збільшується швидкість поновлення гідрофобності після впливу коронного розряду. Зменшується водопоглинання. Поліпшуються діелектричні характеристики.	Знижується дугостійкість. При вмісті 10 % і більше від компаунда істотно сповільнюється полімеризація покриття
Кремнійорганічна рідина ПМС-100	Зменшується водопоглинання. Поліпшуються діелектричні характеристики. Можлива часткова заміна застосовуваних при завданні легкозаймистих рідин (розчинників)	Знижується дугостійкість (особливо при вмісті більше 5% від маси компаунда). Поступається рідині 119-215 по швидкості відновлення гідрофобності після впливу коронного розряду.

Основне призначення гідрату окису алюмінію та оксиду заліза (II) у складі композиції однакове. На властивості покриття (в першу чергу діелектричні), безсумнівно, впливають умови навколишнього середовища під час нанесення покриття (температура і відносна вологість), в'язкість композиції, що наноситься, та її кількість на одиницю площі (що визначає товщину покриття).

Відповідно до прийнятого рішення, на металеві зразки (по 5 круглих зразків діаметром 100 мм для вимірювання діелектричних характеристик і водопоглинання, і по 5 прямокутних зразків 70 мм × 35 мм для визначення лугостійкості) методом розпилення були нанесені такі гідрофобізуєчі композиції (тут цифри у дужках - вміст компоненту в 100% КОК):

- склад №1: КОК (100) + FeO(26) + K(1) + C(0);  
 склад № 2: КОК (100) +  $Al_r$ (5) + K(1,25) + C(1);  
 склад № 3: КОК (100) + FeO(14) + K(1) + C(4);  
 склад № 4: КОК (100) +  $Al_r$ (13) + K(1,5) + C(2,5);  
 склад № 5: КОК (100) + FeO(26) + K(3,5) + C(3);  
 склад № 6: КОК (100) +  $Al_r$ (7) + K(5) + C(4);  
 склад № 7: КОК (100) + FeO(14) + K(3,0) + C(1);  
 склад № 8: КОК (100) +  $Al_r$ (20) + K(5) + C(5);  
 склад № 9: КОК (100) +  $Al_r$ (11) + K(2,0) + C(0,5);  
 склад № 10: КОК (100) +  $Al_r$ (10) + K(2,5) + C(3,5);  
 склад № 11: КОК (100) +  $Al_r$ (18) + K(4) + C(5);  
 склад № 12 (контрольний): КОК (100) + C(1).

Після визначення товщини отриманих покриттів на круглих зразках було проведено відбраковування: якщо середня товщина була менше 150 мкм або значення довірчого інтервалу були більше 10 % середньої величини, то зразок виключався з випробувань. Усереднені характеристики ГП складів №№1-8 наведені в таблиці 2.

Таблица 2

Усереднені характеристики ГП складів №№1-8

склад	характеристики в початковому стані			після 24 год зволоження в дистильованій воді			Прирошення $\Delta tg\delta$	Лугостійкість t, c
	$\rho_v$ , Ом×см	$tg\delta$	$\epsilon$	$\rho_v$ , Ом×см	$tg\delta$	$\epsilon$		
№1	$4,26 \times 10^{14}$	0,0045	3,19	$2,29 \times 10^{14}$	0,0106	3,25	0,0061	-
№2	$4,47 \times 10^{14}$	0,0073	2,53	$2,62 \times 10^{14}$	0,0181	2,77	0,0108	137,2
№3	$3,55 \times 10^{14}$	0,0059	3,09	$2,41 \times 10^{14}$	0,0113	3,20	0,0052	83,5
№4	$10,5 \times 10^{14}$	0,0084	2,55	$6,24 \times 10^{14}$	0,0227	2,99	0,0143	197,5
№5	$10,14 \times 10^{14}$	0,0056	3,03	$5,06 \times 10^{14}$	0,0111	3,21	0,0055	12,5
№6	$3,50 \times 10^{14}$	0,0085	2,89	$2,75 \times 10^{14}$	0,0169	3,11	0,0084	224,7
№7	$2,72 \times 10^{14}$	0,0036	2,87	$1,80 \times 10^{14}$	0,0085	2,93	0,0049	36,2
№8	$3,41 \times 10^{14}$	0,0083	2,49	$2,46 \times 10^{14}$	0,0206	2,80	0,0123	449,2

У ході випробувань для кожного зразка проводили, зовнішній огляд і визначення діелектричних характеристик ( $\rho_v$ ,  $\text{tg}\delta$ ,  $\epsilon$ ) з періодичністю 1 раз на добу в початковий період випробувань (до 4 діб) і 1 раз на 2-3 доби в наступний період. За результатами візуальних спостережень за станом поверхні зразків було зазначено наступне:

1) через 2-і доби від початку випробувань - поява видимих змін поверхні покриття в області дії коронного розряду;

2) через 8 діб - поява потемніння поверхні (близько 50 % площі) на відстані до 4 мм від краю високовольтних електродів і поява слідів впливу коронного розряду (слабкого райдужного відтінку при спостереженнях під гострим кутом) на відстані до 7 мм від краю електродів;

3) за період через 11-17 діб - посилення потемніння поверхні (100% площі) на відстані до 5 мм від краю високовольтних електродів і поширення слідів впливу (слабкого райдужного відтінку) на відстань до 8 мм від краю електродів;

4) через 29 діб - посилення потемніння поверхні і розширення кордонів цієї області на відстань до 6 мм від краю електродів;

5) за весь подальший період від 31 до 60 діб (закінчення випробувань) - розміри областей з видимою зміною стану поверхні майже не змінювалися: область потемнілої поверхні мала форму кільця з діаметрами 26 мм і 12 мм, а сліди від дії коронного розряду відзначалися на відстані до 9 мм від краю електродів.

Протягом всього періоду випробувань значення ( $\rho_v$ ,  $\text{tg}\delta$ ,  $\epsilon$ ) випробуваних зразків змінювалися незначно. Всі отримані значення знаходилися в межах можливих відхилень через нерівномірність товщини зразків і коливань температури навколишнього середовища під час вимірювань. Зміни стану поверхні в області дії коронного розряду свідчать про процеси деструкції полімерного матеріалу.

Було встановлено, що через 10 і більше діб після початку випробувань ці процеси починають стабілізуватися, а швидкість руйнування покриттів із вмістом сажі 3,5-5% (склади № 10 і № 11) менше, ніж у покриттів, що містять 0,5 % і 1 % (склади № 9 і № 12).

Виходячи з отриманих результатів, можна зробити наступні висновки:

1) зразки кремнієорганічних композицій із збільшеним до 3,5-5% вмістом сажі (склади № 10 і № 11) мають більшу стійкість 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 у дистильованій воді;

3) зразки, що містять 1,25-2,5% низькомолекулярної кремнієорганічної рідини 119-215, за своїми гідрофобним властивостям (вологобиранням) лише незначно поступаються зразкам, що містять 3,5-4% цієї ж рідини.

4) З метою підвищення трекінгоерозійної стійкості ГП як антипірин до його складу вводять і гідрат окису алюмінію  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . 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).

Наявність хімічно зв'язаної води дає можливість частині молекул гідрату окису алюмінію приймати участь в реакціях полімеризації однокомпонентних кремнієорганічних компаундів холодного твердіння. В результаті збільшується швидкість полімеризації, і деяка частина атомів алюмінію включається в структуру полімерних ланцюгів, що збільшує їх стійкість до термічної деструкції. Збільшення кількості гідрату окису алюмінію підвищує лугостійкість покриття. Але при цьому знижується питомий об'ємний опір і збільшується тангенс кута діелектричних втрат, вимірювані на зразку після 24 годин зволоження у дистильованій воді.

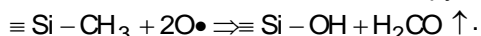
5) Збільшення частки низькомолекулярної кремнієорганічної рідини 119-215 (більше 2,5 %, тобто до 3-5 % і більше від маси КОК), як показали проведені експерименти, уповільнює процеси полімеризації. У результаті цього поверхня покриття може тривалий час залишатися липкою і частки забруднених частинок, що випали за цей час, насичують поверхневий шар, погіршуючи його діелектричні характеристики.

КОК забезпечує утворення механічно міцного покриття, а низькомолекулярна кремнієорганічна рідина 119-215 заповнює вільні простори, що утворюються при затвердінні, перешкоджаючи проникненню молекул води та іонів солей у результаті їх дифузії з навколишнього середовища. Це зменшує вологопроникність і вологобирання покриття, збільшує його стійкість до поверхневих струмів витоку і часткових розрядів.

Після комплексного аналізу всіх даних про зміну характеристик випробовуваних зразків ( $\alpha$ ,  $\rho_v$ ,  $\text{tg}\delta$ ,  $\epsilon$ ), спільно з наявною інформацією про механізми окислення кремнієорганічних

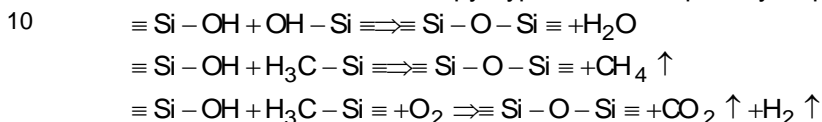
полімерів, був зроблений висновок про те, що передбачуваний механізм фізико-хімічного «руйнування» гідрофобного покриття досліджуваного типу включає наступні етапи:

Етап № 1. Окислення металічних груп активними атомами кисню:



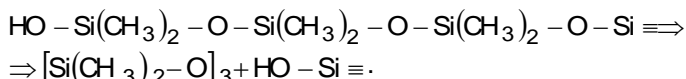
- 5 Хімічна взаємодія проходить з незначним збільшенням маси. Групи - OH, що утворилися на поверхні покриття, легко утворюють водневі зв'язки з молекулами води і в міру збільшення числа цих груп поверхня набуває гідрофільні властивості (різке падіння гідрофобних властивостей після короткочасного впливу коронного розряду).

Етап № 2. Збільшення «структуризації» поверхні - утворення нових Si - O зв'язків ("зшивок"):



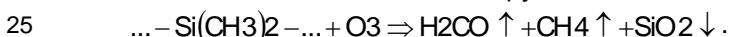
- Така хімічна взаємодія проходить зі зменшенням маси. В результаті: ущільнюється поверхневий шар, утруднюється дифузія кисню у покритті. Зменшення числа груп - OH на 15 поверхні покриття сприяє відновленню гідрофобних властивостей.

Етап № 3. Деструкція по кінцях силоксанових ланцюгів з утворенням низькомолекулярних силоксанів:



- 20 Хімічні реакції даного типу йдуть без зміни маси. У результаті «виходу» на поверхню покриття низькомолекулярних силоксанів йде відновлення гідрофобних властивостей (збільшення кута змочування поверхні в зоні впливу коронного розряду, а також поява райдужного відтінку на поверхні покриття.)

Етап № 4. Окислювальна деструкція:



Хімічне перетворення проходить з незначним збільшенням маси. В результаті таких процесів відбувається накопичення діоксиду кремнію на поверхні покриття (зменшення блиску і гладкості поверхні, а також поява темного нальоту).

- 30 Слід зазначити, що хімічна реакція етапу № 1 є «ініціатором» реакцій етапів № 2 і № 3. При тривалому впливі коронного розряду ці реакції (зі зменшенням і збільшенням маси) протікають одночасно, внаслідок чого механізм руйнування кремнійорганічного покриття має дуже складний характер.

- Оскільки за результатами зовнішнього огляду на зразках не виявлено геометричного «зростання» області дії коронного розряду, можна зробити наступні припущення: 1) усі випробувані покриття (складів № 9-№ 12) мають короностійкість, достатню для їх успішного застосування протягом не менше 5 років на ізоляції діючих високовольтних ліній та підстанцій; 35 2) тимчасова втрата гідрофобності на окремих ділянках поверхні внаслідок впливу корони не викличе істотного зниження вологорозрядних характеристик гідрофобізованого ізолятора в цілому.

- 40 Ефективність даного технічного рішення підтверджується результатами порівняльних випробувань на зразках та на реальних ізоляторах. Зразки випробовувалися в камері туману в умовах безперервного протікання поверхневих струмів витoku, характерних для експлуатації (4 мА-5 мА), а ізолятори - в камері солоного туману при впливі робочої напруги і поверхневих часткових розрядів.

- 45 Як витикає з результатів випробувань зразків та ізоляторів, покриття "КОК + низькомолекулярна кремнійорганічна рідина" має помітно кращі експлуатаційні характеристики, ніж відоме покриття. Оптимальне вагове співвідношення між КОК і низькомолекулярною кремнійорганічною рідиною становить 1: (0,0125 - 0,025).

- 50 Пропонований склад може наноситися на поверхню ізоляції розпиленням (механізований спосіб), зануренням обробленого виробу до полімерного складу або щіткою. Для надання необхідної в'язкості складу при нанесенні механізованим способом за допомогою пристрою типу фарбопульта пропонується використовувати розчинник "Сольвент нафтовий". Після нанесення на поверхню розчинник випаровується, не здійснюючи вплив на електричні характеристики покриття.

- 55 Оптимальне вагове співвідношення між компаундом і гідратом окису алюмінію, що забезпечує максимальне збільшення лугостійкості при збереженні діелектричних характеристик покриття відповідно нормам, прийнятим для кремнійорганічних гум (ТУ У 3.72-00216473-028 - 2001), становить 1: (0,05 - 0,15 ) від маси компаунда.

В розробленому способі затвердіння КОК здійснюється за допомогою каталізатора (твердника) метилтриацетоксисилану або К-10С під кімнатній температурі у присутності вологи повітря. Це обумовлено тим, що каталізатор К-10С (метилтриацетоксисилан) має кислу реакцію, тому що при зіткненні з вологою повітря він швидко гідролізується з утворенням оцтової

кислоти. Вона ж у більших кількостях виділяється при затвердінні каучуку СКТН в результаті приєднання атомів водню гідроксильних груп каучуку до кислотних залишків каталізатора.

Вулканізація протікає тільки в присутності вологи повітря. При цьому спершу відбувається гідроліз ацетатних груп і потім конденсація молекул за допомогою зшиваючих агентів, які містять три функціональних групи, в результаті чого зростає молекулярна маса. Виділяється оцтова кислота, що має характерний запах, і яка потім випаровується з системи.

Агресивна концентрована оцтова кислоти, як показали випробування, викликає корозійне пошкодження вуглецевої сталі. Виділення кислоти супроводжується також усадкою гідрофобізатора. Усадка гідрофобізатора та корозія сталі є головними причинами недостатньої адгезійної міцності з'єднання поверхні конструктивних елементів ізолятора з гідрофобізатором, що виявляється у відшаруванні гідрофобізатора від поверхні ізолятора і проникненні вологи до поверхні ізолятора та кордону розподілу «ізолятор-покриття».

Спроба застосування інших каталізаторів твердіння каучуку СКТН, що не утворюють оцтову кислоту, не дали позитивні результати. Так, застосування добре відомого каталізатора К-18 (тетраетоксисилану) істотно ускладнило технологію гідрофобізації, збільшило час затвердіння й не поліпшило якості ізоляторів.

Ускладнення технології полягало у тому, що гідрофобізатори з каталізатором К-18 є двокомпонентними і вимагають змішування перед накладенням. Реакція вулканізації протікає дуже повільно, тому вона вимагає прискорення відповідними каталізаторами кислого або лужного характеру. Такими є солі металів або металоорганічних з'єднань: Sn, Pb, Ti, Zn. В основному застосовується октоат олова  $\text{Sn}(\text{OCC}_7\text{H}_{15})_2$ .

Реакція твердіння з каталізатором К-18 також супроводжується виділенням побічного продукту (в даному випадку спирту) та, як наслідок, усадкою герметика (гідрофобізатора). Крім цього, застосування гідрофобізатора з каталізатором К-18 вимагає попередньої ґрунтовки поверхні металів.

Наведений вище аналіз механізмів твердіння гідрофобізаторів показав, що герметизація ізоляторів повинна здійснюватися речовинами, затвердіння яких відбувається без усадки і без виділення побічних продуктів, тобто за допомогою К-10С (метилтриацетоксисилану).

Суть технічного рішення ілюструється фіг. 1-2, де на фіг. 1 показаний процес гідрофобізації зовнішньої ізоляції обмежувачів перенапруги; на фіг. 2 показаний процес гідрофобізації високовольтних вводів з робочою напругою 330 кВ.

Розроблений спосіб реалізують наступним чином.

Шукане ГП готують на основі силіконового низькомолекулярного каучуку, наповнювача і отверджувача. При цьому як силіконовий низькомолекулярний каучук використовують каучук марки СКТН, 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.

Приготування розчину ГП потрібної консистенції здійснюють наступним чином. В КОК перед змішуванням з низькомолекулярною кремнієорганічною рідиною 119-215 додатково вводять твердий наповнювач у вигляді сажі ацетиленової. Далі в ємність для змішування наливають розчинник, після чого додають наповнювач у вигляді гідрату окису алюмінію, і отриманий розчин перемішують до утворення однорідної суміші.

При цьому вагове співвідношення між КОК і розчинником вибирають в залежності від температури навколишнього середовища. При цьому шукане вагове співвідношення на 100,0 мас.ч. каучуку становить (0,85-1,0) мас.ч. при температурі навколишнього середовища до 25 °С і (1,05-1,4) мас.ч. при температурі навколишнього середовища понад 25 °С. У той же час нанесення ГП здійснюють при температурі навколишнього повітря не нижче мінус 10 °С і відсутності атмосферних опадів, а також роси.

У приготовлену однорідну суміш додають твердий наповнювач у вигляді сажі ацетиленової, після чого отриману рідку композицію ретельно перемішують до утворення шуканої однорідної суміші. При цьому ГП містить на 100,0 мас.ч. каучуку гідрат окису алюмінію в кількості 5,0-15,0 мас.ч., сажу ацетиленову у 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 нанесенням ГП покриття визначають наявність зволоження забруднень, що існують на гідрофобізованій поверхні електроізоляційної конструкції. Після цього, за наявності такого зволоження, здійснюють підсушування гідрофобізованої поверхні разом з існуючими

забрудненнями. А очищення гідрофобізованої поверхні здійснюють тільки від забруднень, що не цементуються.

Потім наносять на гідрофобізовану поверхню один або кілька шарів ГП механізованим способом (див. фіг. 1 і фіг. 2) шляхом розпилення з використанням джерела стисненого повітря, що забезпечує витрату не менше 15 м<sup>3</sup>/год. при тиску стисненого повітря не менше 0,15 МПа. При цьому розпилення здійснюють при відстані від зрізу сопла розпилювача до поверхні електроізоляційної конструкції, 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 та ефективності нанесення ГП.

Норму витрати наносимого шару КОК на гідрофобізовану поверхню електроізоляційної конструкції визначають зі співвідношення:

$$m = \rho \cdot S \cdot h \cdot (1 + k),$$

де  $m$  - маса наносимого КОК, г,

$\rho$  - густина КОК, яка становить, наприклад, 1,28 г/см<sup>2</sup>,

$S$  - площа гідрофобізованої поверхні електроізоляційної конструкції, см<sup>2</sup>,

$h$  - товщина гідрофобного покриття, см,

$k$  - коефіцієнт втрат, який приймають рівним 0,15 - 0,2.

Таким чином, перевагою розробленого способу у порівнянні з аналогами і прототипом є підвищення надійності та збільшення терміну служби наносимого завулканізованого ГП, оптимізація його складу і процедури нанесення залежно від стану і типу забруднень, що приводить також до підвищення вологорозрядних напруг високовольтної ізоляції протягом всього тривалого строку 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 не менше 500 годин) 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 витoku 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 кремнійорганічних полімерних покриттів забруднюється значно менше. Крім цього, одержуване ГП зазначеного складу в 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 зменшити втрати витратних матеріалів при гідрофобізації їх поверхні. Ефективність застосування розробленого способу в частині технології нанесення ГП на основі КОК 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 оптимальний склад ГП, а також покращені умови очищення і «самоочищення» одержуваної гідрофобізованої поверхні високовольтної ізоляції дозволяють при проведенні профілактичних заходів виключити роботи по зняттю «старого» шару ГП перед нанесенням «нового» і забезпечують ефективну експлуатацію покриття без проведення додаткових профілактичних заходів протягом не менше 10 років. Отримані результати проведених досліджень можуть також використовуватися при виготовленні зовнішньої полімерної ізоляції іншого високовольтного електротехнічного обладнання: обмежувачів перенапруг, опорних і прохідних ізоляторів, трансформаторів струму і напруги.

Джерела інформації:

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

2. 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.

3. Спосіб підвищення вологорозрядного напруги високовольтної ізоляції. Патент UAN<sup>o</sup>77628. МПК (2006) H01B17/50 (2006.01) H01B19/00, опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12.

# ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

5

1. Спосіб підвищення вологорозрядної напруги високовольтної ізоляції, що полягає в нанесенні на зовнішню поверхню електроізоляційної конструкції гідрофобного покриття на основі кремнієорганічного компаунда холодного твердіння на основі силіконового низькомолекулярного каучуку, наповнювача у вигляді гідрату окису алюмінію і отверджувача або каталізатора, при якому вищезгаданий компаунд перед нанесенням на гідрофобізовану поверхню змішують з низькомолекулярною кремнієорганічною рідиною, після чого отриману суміш розбавляють органічним розчинником, за який використовують, наприклад, сольвент нафтовий, при цьому перед нанесенням гідрофобного покриття здійснюють очистку гідрофобізованої поверхні високовольтної ізоляції від існуючих на ній забруднень, який

10 **відрізняється** тим, що в компаунд перед змішуванням з низькомолекулярною кремнієорганічною рідиною додатково вводять твердий наповнювач у вигляді сажі ацетиленової, як отверджувач використовують метилтриацетоксисилан, як силіконовий низькомолекулярний каучук використовують каучук марки СКТН, як низькомолекулярну кремнієорганічну рідину використовують кремнієорганічну рідину марки 119-215, при цьому використовують компаунд, який на 100,0 мас.ч. каучуку містить низькомолекулярну кремнієорганічну рідину в кількості (1,25-2,5) мас.ч., гідрат окису алюмінію в кількості (5-15,0) мас.ч., сажу ацетиленову у кількості (0,5 - 2,5) мас.ч., а також твердник у кількості (2,5-6,5) мас.ч., причому перед нанесенням гідрофобного покриття визначають наявність зволоження існуючих на електроізоляційній конструкції забруднень, після чого, за наявності такого

20 зволоження, здійснюють підсушування гідрофобізованої поверхні електроізоляційної конструкції разом з існуючими на ній забрудненнями, і потім здійснюють очистку сухої гідрофобізованої поверхні тільки від забруднень, що не цементуються.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що вагове співвідношення між кремнієорганічним компаундом і розчинником вибирають в залежності від температури навколишнього середовища, при цьому шукане вагове співвідношення на 100,0 мас.ч. каучуку складає (0,85-1,0) мас.ч. при температурі навколишнього середовища до 25 °С, і (1,05-1,4) мас.ч. при температурі навколишнього середовища понад 25 °С.

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що нанесення гідрофобного покриття здійснюють при температурі навколишнього повітря не нижче мінус 10 °С і за відсутності атмосферних опадів, а також роси.

4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що очищення гідрофобізованої поверхні електроізоляційної конструкції від існуючих забруднень, що не цементуються, здійснюють вручну або стисненим повітрям, або обмиванням водою.

5. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що норму витрати наносимого шару кремнієорганічного компаунда на гідрофобізовану поверхню електроізоляційної конструкції визначають зі співвідношення

$$m = \rho \cdot S \cdot h \cdot (1 + k),$$

де  $m$  - маса наносимого кремнієорганічного компаунда, г,

$\rho$  - густина кремнієорганічного компаунда, яка становить, наприклад, 1,28 г/см<sup>3</sup>,

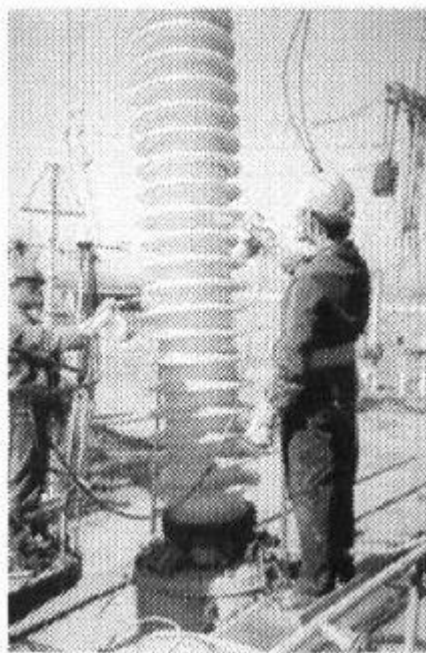
45  $S$  - площа гідрофобізованої поверхні електроізоляційної конструкції, см<sup>2</sup>,

$h$  - товщина гідрофобного покриття, см,

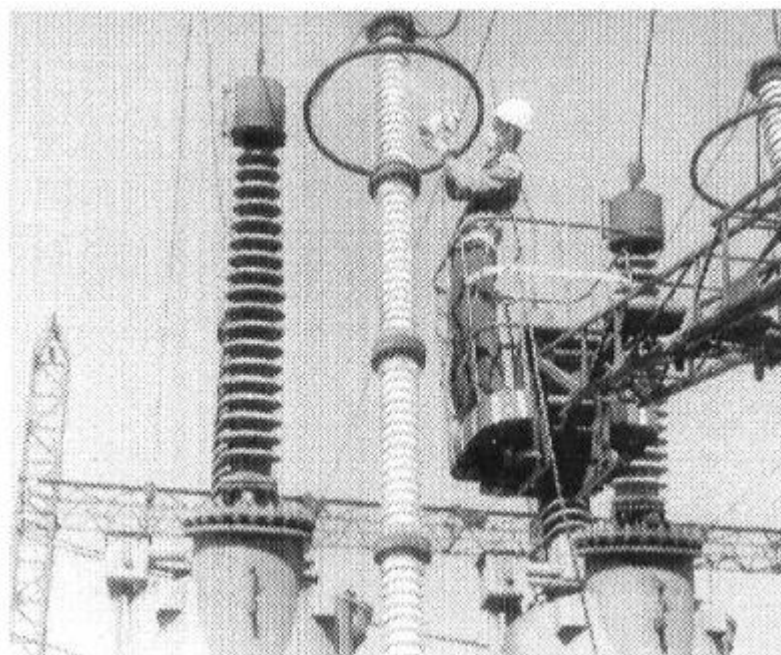
$k$  - коефіцієнт втрат, який приймають рівним 0,15-0,2.

6. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що отримують гідрофобне покриття, яке в вулканізованому стані характеризується терміном служби, що становить не менше 10 років, при експлуатації в умовах перепаду температур від мінус 60 °С до плюс 65 °С і при робочих напругах 6-750 кВ.

50



**Fig. 1**



**Fig. 2**

---

Комп'ютерна верстка В. Мацело

---

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