



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **75371** (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: u 2012 06704	(72) Винахідник(и): Розов Валерій Аркадійович (UA), Злаказов Олександр Борисович (UA), Таран Володимир Миколайович (UA)
(22) Дата подання заявки: 31.05.2012	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 26.11.2012	(73) Власник(и): ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ИНВЕСТ- ЕНЕРГО", ул. Угрешская, 2, стр. 6, г. Москва, 115088 (RU)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 26.11.2012, Бюл.№ 22	(74) Представник: Колосов Олександр Євгенович, реєстр. №269

(54) ГІДРОФОБНИЙ КРЕМНІОРГАНІЧНИЙ КОМПАУНД ДЛЯ ЕЛЕКТРОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ

(57) Реферат:

Гідрофобний кремнієорганічний компаунд для електроізоляційних конструкцій на основі одно- або двопакувальних кремнієорганічних композицій холодного твердіння містить силіконовий низькомолекулярний каучук, наповнювач, а також і отверджувач або каталізатор. Компаунд у вулканізованому стані характеризується терміном служби не менше 10 років.



Fig. 1

UA 75371 U

Корисна модель належить до гідрофобних кремнієорганічних компаундів (далі - КОК), призначених для нанесення на електроізоляційні конструкції, наприклад, високовольтних ізоляторів, і може бути використана для посилення вологорозрядної напруги та підвищення електричної міцності зовнішньої ізоляції, що працює в умовах забруднення.

Відомий електроізоляційний гідрофобний компаунд у вигляді кремнієорганічних паст, що наноситься на поверхню електроізоляційних конструкцій і використовується для підвищення вологорозрядних напруг високовольтної ізоляції [1].

Недоліком відомого компаунду є те, що в процесі експлуатації гідрофобний пастоподібний шар насичується забруднюючими речовинами і втрачає свої гідрофобні властивості, наслідком чого є низькі значення витримуваних робочих напруг, а також необхідність періодичної заміни електроізоляційної конструкції.

Як аналог вибраний електроізоляційний гідрофобний кремнієорганічний еластомер, який утворює на поверхні ізолятора тверду захисну плівку [2].

Недоліком компаунду аналога є недостатньо високі експлуатаційні властивості і термін служби наносимого на її основі гідрофобного покриття (далі - ГП), наслідком чого є низькі значення витримуваних робочих напруг, а також необхідність періодичної заміни електроізоляційної конструкції.

Як найбільш близький аналог (прототип) вибрано електроізоляційний гідрофобний кремнієорганічний компаунд (КОК) холодного твердіння з твердим наповнювачем у вигляді діоксиду титану та гідратом окису алюмінію, і з рідким наповнювачем у вигляді низькомолекулярної кремнієорганічної рідини, а також органічного розчинника марки "Сольвент нафтовий". При цьому 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].

Недоліками компаунда найбільш близького аналога є недостатньо високі експлуатаційні (електроізоляційні) властивості і термін служби наносимого на її основі ГП, через відсутність оптимального складу і співвідношення компонентів компаунда, наслідком чого є недостатньо високі значення витримуваних робочих напруг, а також необхідність періодичної заміни електроізоляційної конструкції.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення надійності та збільшення терміну служби гідрофобного електроізоляційного покриття на основі компаунда шляхом встановлення оптимального складу і співвідношення компонентів цього компаунда, а також його експлуатаційних, зокрема електроізоляційних властивостей у вулканізованому стані, що приведе також до підвищення вологорозрядних напруг високовольтної ізоляції з гідрофобним покриттям на його основі протягом всього тривалого терміну експлуатації високовольтної ізоляції.

Поставлена задача вирішується тим, що у гідрофобному кремнієорганічному компаунді для електроізоляційних конструкцій на основі одно- або двопакувальних кремнієорганічних композицій холодного твердіння, який містить силіконовий низькомолекулярний каучук, наповнювач, а також і отверджувач або каталізатор, новим є те, що, компаунд у вулканізованому стані характеризується величиною крайового кута змочування, що становить від 60° до 179° , трекінгоерозійною стійкістю при тривалості випробувань, що становить не менше 500 год., при робочих напругах 6-750 кВ, а також дугостійкістю, яка характеризується значенням струму дуги не менше 100 мА при тривалості впливу не менше 600 с.

Компаунд у невулканізованому стані характеризується життєздатністю при температурі від 15°C до 35°C в межах 15-60 хв., а в вулканізованому стані характеризується умовною розривною міцністю при розтягуванні не менше 0,55 МПа, відносним подовженням при розриві не менше 100 %, питомим об'ємним електричним опором ρ_v , не менше $3,0 \times 10^{14}$ Ом \times см, питомим поверхневим електричним опором ρ_s не менше $1,0 \times 10^{15}$ Ом, тангенсом кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta$ при частоті 50 Гц не більше 0,008, електричною міцністю у дистильованій воді не менше 10 кВ/мм, а також міцністю зв'язку з металом при відшаруванні не менше 0,60 Н/м.

Компаунд у вулканізованому стані характеризується терміном служби, що становить не менше 10 років, при експлуатації в умовах перепаду температур від мінус 60°C до плюс 65°C .

Як силіконовий низькомолекулярний каучук компаунд містить каучук марки СКТН, як наповнювача він містить як твердий наповнювач у вигляді гідрату окису алюмінію і сажі ацетиленової, так і рідкий наповнювач у вигляді низькомолекулярної кремнієорганічної рідини марки 119-215, а як отверджувач компаунд містить метилтриацетоксисилан.

Компаунд містить на 100,0 мас. ч. каучуку 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 отверджувач у кількості (2,5 - 6,5) мас. ч.

Перераховані вище ознаки складають суть корисної моделі.

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

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
10 атмосферою вологою збільшує свою 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.

Отже, для підвищення надійності високовольтної ізоляції в забруднених районах актуально є задача посилення зовнішньої ізоляції для забезпечення високих розрядних напруг в несприятливих умовах. Вирішенням цієї проблеми є застосування кремнієорганічних ГП на основі кремнієорганічних компаундів (КОК).
15

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
20 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.

У районах з великою СЗА зовнішня ізоляція нерідко піддається впливу поверхневих розрядів. На підставі численних спостережень і вимірювань встановлено, що більшість
25 поверхневих розрядів має кидки струмів порядку 10-30 мА, а при певних умовах 100 мА і вище. Отже, дугостійкість ГП на основі КОК є одним з головних критеріїв експлуатаційної надійності для районів з високою СЗА.

Випробування на дугостійкість проводилися за методом провідного містка в умовах впливу слабкострумової дуги високої напруги відповідно до ГОСТ 10345.1-78. Цей метод дозволяє дати
30 прискорену оцінку стійкості діелектричних матеріалів до впливу поверхневих розрядів.

Гідрофобні покриття, призначені для випробувань, наносилися на попередньо знежирену поверхню металевих зразків. Після нанесення покриття зразки витримувалися перед початком випробувань не менше 7 діб для забезпечення повного затвердіння покриття по всій товщині.
35 Перед початком випробувань на зразках в місцях передбачуваного горіння дуги (між електродами) за допомогою магнітного товщиноміра вимірювалася товщина покриття. Випробуваний зразок містився на керамічну підпружинену підставку, що забезпечувало щільне прилягання електродів до випробуваної поверхні, після чого подавалася висока напруга. Тривалість горіння дуги фіксувалася за допомогою секундоміра.

Випробувальна установка забезпечувала початковий струм 10 мА і подальше його збільшення, ступенями по 10 мА кожен, до 100 мА. Тривалість витримки на кожному ступені - 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 прогорянні і
45 електричному пробіі покриття (згасання дуги), або після того, як зразок витримував 60 с впливу дуги з силою струму 100 мА (загальний час випробувань склав 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
50 дуги, що супроводжується різким збільшенням струму на контрольному приладі більш ніж у 2 рази.

Суть корисної моделі пояснюють креслення.

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. 1 (горіння дуги при силі струму 10 мА) і фіг.2 (стан поверхні покриття після 1 хв. її впливу при силі струму 10 мА).
55

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. 3, де показано горіння дуги при силі струму 50 мА) і на
60

фiг. 4, де показано стан поверхнi 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 фiг. 5 (горіння продуктів деструкції покриття в каналі дуги перед її згасанням) і на фiг. 6 (показаний вигляд поверхнi 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 електричної дуги:

- поява треку у вигляді руйнування (обвуглювання) тільки поверхневого шару покриття (див. фiг.7), при цьому дуга не гасне;

- руйнування - вигорання покриття на більш ніж 50 % товщини, розм'якшення залишків шару (див. фiг.8) і його електричний пробій, при цьому дуга гасне.

Визначення дугостійкості однорідних покриттів на основі розроблених 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). 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 до 0,5 мм.

Аналіз отриманих результатів не виявив чіткого зв'язку між товщиною покриття і часом його руйнування під дією електричної дуги. 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 у складі композиції дугостійкість покриттів на основі КОК зростає.

2. Характер кривих ймовірності прогорання покриттів без наповнювачів, з (0,5-2,5)% сажі ацетиленової і з (1,25-2,5)% низькомолекулярної кремнієорганічної рідини марки 119-215 дуже близький, особливо на перших щаблях 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 (від 3 % і більше).

Згідно з розробленим технічним рішенням, компаунд в 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 зазначено їх критичних електричних пошкоджень. Тому цю відмітну ознаку, яка корелюється з дугостійкістю (см.фiг.9), слід розглядати 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 шляхи для запобігання явища трекінгу в досліджуваній високовольтній електроізоляційній конструкції: 1) внесення конструктивних змін; 2) застосування ізоляційних композиційних матеріалів, що мають стійкість до трекінгу.

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

Вирішальну роль у виникненні або відсутності трекінгу відіграють самі матеріали, що застосовуються як ізоляція у високовольтних зовнішніх установках. Не всі матеріали однаковою мірою можуть протистояти явищу трекінгу. Такі матеріали, як слюда, фарфор і скло, мають

високий клас трекінгостійкості і, в певному сенсі, є еталонами. З цієї причини скло і кераміка традиційно використовувалися для виробництва високовольтних ізоляторів.

З розвитком області полімерних композиційних матеріалів і сучасних технологій з'явилася можливість створювати полімери, що мають стійкість до трекінгу. Після проведення серії експериментів була розроблена спеціальна рецептура антитрекінгового 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.

Розроблений компаунд у вулканізованому стані характеризується величиною крайового кута змочування, що становить від $\alpha \geq 60^\circ$ (див. фіг. 10) і до 179° (див. фіг. 11).

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. 10-13. Крім безпосереднього вимірювання крайового кута змочування завулканізованого вихідного покриття на основі КОК розробленого складу, були також проведені вимірювання кута змочування поверхні α на зразках одного складу після певного часу впливу коронного розряду, що склав 1 хв., 2 хв., 5 хв., 10 хв., 20 хв., 30 хв., 60 хв. і 120 хв.

Змочуваність поверхні покриття після 10 хв. впливу коронного розряду показана на фіг. 12, а після 60 хв. впливу коронного розряду показана на фіг. 13 (на фіг. 12 і фіг. 13 права крапля на поверхні є контрольною і знаходиться поза області дії). В результаті було встановлено, що повна втрата гідрофобності ($\alpha \approx 0^\circ$) на всій поверхні, підданій впливу корони (див. фіг. 12), настає після 10 хв. впливу коронного розряду.

При більш тривалому впливі (60 хв. і більше) значення α стали поступово підвищуватися (див. фіг. 13). 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).

Відомо, що однопакувальні композиції складаються, як правило, з полімеру з гідрофільними силанольними групами і взятого в надлишку по відношенню 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 дифузійну вологу 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 композиції визначається шляхом дослідження оптимальності одержуваних при цьому експлуатаційних властивостей затверділої композиції).

Проведені дослідження показали, що при введенні до складу КОК 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 КОК 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.

Параметр оптимізації 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 вологорозрядних характеристик зовнішньої ізоляції є його гідрофобність. Гідрофобні властивості безпосередньо характеризуються величиною кута змочування поверхні α . Однак

одиничне вимірювання α 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.

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

10 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.

15 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 ϵ зразків одного і того ж матеріалу можуть значно відрізнятись. Крім того, зміни ϵ 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.

20 Таким чином, для забезпечення ефективного проведення робіт у польових умовах композиція, призначена для одержання гідрофобних покриттів холодного твердіння, повинна бути, в першу чергу, стійкою до можливого потрапляння домішок і мати життєздатність, що забезпечує проведення робіт в широкому діапазоні температур. Тому можна зробити висновок про те, що кращою основою для нанесення кремнієорганічного гідрофобного покриття холодного твердіння, незважаючи на існуючі обмеження, буде все ж однопакувальна КОК.

25 До широко відомих в даний час компаундів даного типу належать "Сілгард" (США), КЛТ-30А (Росія), ЕКП-102 (України). Діелектричні характеристики зразків покриттів (твердих полімерних плівок), отриманих при затвердінні цих компаундів, наведено в таблиці 1.

30

Таблиця 1

Діелектричні характеристики гідрофобних покриттів, отриманих на основі однокомпонентних компаундів холодного твердіння

Склад	Питомий об'ємний опір ρ_v , Ом \times см	Питомий поверхневий опір ρ_s , Ом	Тангенс кута діелектричних втрат, $\text{tg}\delta$	Відносна діелектрична проникність, ϵ
"Сілгард"	$2,03 \times 10^{14}$	$1,2 \times 10^{15}$	0,0029	3,08
КЛТ-30А	$3,03 \times 10^{14}$	$1,7 \times 10^{15}$	0,0028	2,38
ЕКП-102	$4,63 \times 10^{14}$	$1,9 \times 10^{15}$	0,0020	1,88

35 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 перевагами, так і їх недоліками з точки зору як електроізоляційних властивостей, так і технологічності одержуваної КОК (див. таблицю 2).

З вищевикладеної таблиці випливає, що з перерахованих компонентів для подальшого розгляду як оптимізуючих факторів доцільно досліджувати наступні:

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

45

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 дугостійкості) методом розпилення були нанесені такі гідрофобізуючі композиції (тут цифри у дужках - вміст компонента в 100 % КОК):

5

Таблиця 2

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 ρ_v , збільшуються $\operatorname{tg}\delta$ і ε .
Двоокис титану (TiO_2)	Збільшується дугостійкість	Ускладнюється процес приготування композиції. При рівних діелектричних характеристиках, по збільшенню дугостійкості значно поступається гідрату окису алюмінію.
Оксид заліза (II) (FeO)	Збільшується дугостійкість. Отримання пофарбованого покриття, можливість утворення додаткових зв'язків (збільшення механічної міцності і короностійкості)	Знижується ρ_v , збільшуються $\operatorname{tg}\delta$ і ε . При рівних діелектричних характеристиках, по збільшенню дугостійкості поступається гідрату окису алюмінію.
Оксид алюмінію (Al_2O_3)	Збільшується дугостійкість.	Знижується ρ_v , збільшуються $\operatorname{tg}\delta$ і ε
Гідрат окису алюмінію $\text{Al}_r (\text{Al}_2\text{O}_3 \times 3\text{H}_2\text{O})$	Збільшується дугостійкість. У порівнянні з оксидом алюмінію при рівній дугостійкості покриття має найкращі діелектричні характеристики	Знижується ρ_v , збільшуються $\operatorname{tg}\delta$ і ε .
Низькомолекулярна кремнієорганічна 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 компаунду істотно сповільнюється полімеризація покриття
Кремнієорганічна 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 компаунду). Постає рідина 119-215 по швидкості відновлення гідрофобності після впливу коронного розряду.

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);

10 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);

15 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

20

були більше 10 % середньої величини, то зразок виключався з випробувань. Усереднені характеристики ГП складів №№1-8 наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Усереднені характеристики ГП складів №№1-8

склад	характеристики в початковому стані			після 24 год. зволоження в дистильованій воді			прирошення Δ $\text{tg}\delta$	дугостійкість t, с
	ρ_v , Ом \times см	$\text{tg}\delta$	ε	ρ_v , Ом \times см	$\text{tg}\delta$	ε		
№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

5 У ході випробувань для кожного зразка проводили: зовнішній огляд і визначення діелектричних характеристик (ρ_v , $\text{tg}\delta$, ε) 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:

10 1) через 2 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;

15 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;

20 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.

25 Протягом всього періоду випробувань значення (ρ_v , $\text{tg}\delta$, ε) 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.

30 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%;

35 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 гідрофобними властивостями (вологовбиранням) лише незначно поступаються зразкам, що містять 3,5-4% цієї ж рідини.

40 4) З метою підвищення трекінгоерозійної стійкості ГП як антипірин до його складу вводять і гідрат окису алюмінію Al₂O₃. 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

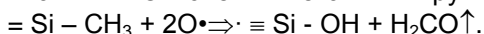
деструкції. Збільшення кількості гідрату окису алюмінію підвищує дугостійкість покриття. Але при цьому знижується питомий об'ємний опір і збільшується тангенс кута діелектричних втрат, вимірювані на зразку після 24 годин зволоження у дистильованій воді.

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 вологовбирання покриття, збільшує його стійкість до поверхневих струмів витоку і часткових розрядів.

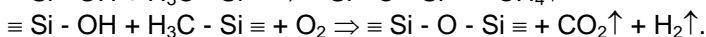
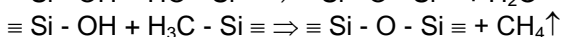
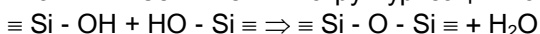
Після комплексного аналізу всіх даних про зміну характеристик випробовуваних зразків (α , ρ , v , $\tan\delta$, ϵ), спільно з наявною інформацією про механізми окислення кремнієорганічних полімерів, був зроблений висновок про те, що передбачуваний механізм фізико-хімічного «руйнування» гідрофобного покриття досліджуваного типу включає наступні етапи:

Етап № 1. Окислення металічних груп активними атомами кисню:



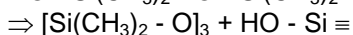
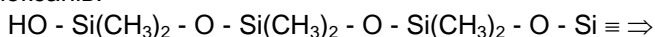
Хімічна взаємодія проходить з незначним збільшенням маси. Групи - OH, що утворилися на поверхні покриття, легко утворюють водневі зв'язки з молекулами води і в міру збільшення числа цих груп поверхня набуває гідрофільних властивостей (різке падіння гідрофобних властивостей після короточасного впливу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

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



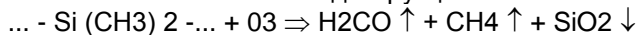
Така хімічна взаємодія проходить зі зменшенням маси. В результаті: ущільнюється поверхневий шар, утруднюється дифузія кисню у покриття. Зменшення числа груп -OH на поверхні покриття сприяє відновленню гідрофобних властивостей.

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



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).

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 кремнієорганічного 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; 2). тимчасова втрата гідрофобності на окремих ділянках поверхні внаслідок впливу корони не викличе істотного зниження вологорозрядних характеристик гідрофобізованого ізолятора в цілому.

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 витоку, характерних для експлуатації (4 мА - 5 мА), а ізолятори - в камері солоного туману при впливі робочої напруги і поверхневих часткових розрядів.

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

10 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.

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

20 В розробленому способі затвердіння КОК здійснюється за допомогою каталізатора (отверджувача) метилтриацетоксисилану або К-10С при кімнатній температурі у присутності вологи повітря. Це обумовлено тим, що каталізатор К-10С (метилтриацетоксисилан) має кислотну 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.

25 Вулканізація протікає тільки в присутності вологи повітря. При цьому спершу відбувається гідроліз ацетатних груп і потім конденсація молекул з 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.

30 Агресивна концентрована оцтова кислота, 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 границі розподілу «ізолятор - покриття».

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

40 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 октоатолова $\text{Sn}(\text{OOC}_7\text{H}_{15})_2$.

45 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.

50 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).

Розроблене технічне рішення ілюструється за допомогою фіг.1-14, де: на фіг. 1 показано горіння дуги на поверхні вулканізованого покриття при силі струму 10 мА; на фіг. 2 показано стан цієї поверхні покриття після 1 хв її впливу при силі струму 10 мА; на фіг. 3 показаний характер горіння дуги при силі струму 50 мА; на фіг. 4 показано стан поверхні покриття, що піддалося впливу сили струму 50 мА, після відключення напруги; на фіг. 5 показано горіння продуктів деструкції покриття в каналі дуги перед її згасання; на фіг. 6 показаний вигляд поверхні покриття після згасання горіння продуктів деструкції покриття в каналі дуги; на фіг.7 зображений вигляд поверхні покриття після видалення обвугленого поверхневого шару в місцях, де не було згасання дуги; на фіг. 8 зображений вигляд поверхні покриття після видалення обвугленого поверхневого шару в місцях, де було згасання дуги; на фіг.9 схематично

показаний механізм появи і розвитку трекінгу; на фіг. 10 показаний характер змочуваності гідрофобізованої поверхні ізолятора, яка характеризується величиною крайового кута змочування $\alpha \geq 60^\circ$; на фіг. 11 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. 12 показана змочуваність поверхні покриття після 10 хв. припинення дії коронного розряду (права крапля на поверхні є контрольною і знаходиться поза областю впливу); на фіг. 13 показана змочуваність поверхні покриття після 60 хв впливу коронного розряду (права крапля на поверхні є контрольною і знаходиться поза областю дії); на фіг. 14 показана життєстійкість гідрофобізуючої композиції при температурах навколишнього середовища $+20^\circ\text{C}$, $+25^\circ\text{C}$, $+30^\circ\text{C}$, $+35^\circ\text{C}$ і $+40^\circ\text{C}$ у залежності від кількості органічного розчинника для КОК.

Приготування і нанесення рідкого ГП на основі розробленого КОК здійснюють таким чином.

Шуканий гідрофобний КОК 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. Як розчинник КОК використовують органічний розчинник марки «сольвент нафтовий».

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, після чого отриману рідку композицію скрупульозно перемішують до утворення шуканої однорідної суміші.

При цьому КОК 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. 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°C і (1,05 - 1,4) мас. ч. при температурі навколишнього середовища понад 25°C . У той же час нанесення ГП здійснюють при температурі навколишнього повітря не нижче мінус 10°C і відсутності атмосферних опадів, а також роси.

Приготовлене ГП на основі КОК у невулканізованому стані характеризується життєздатністю (життєстійкістю) при температурі від 15°C до 35°C в межах 15-60 хв. (див. фіг. 14). Після цього проводять очищення гідрофобізованої поверхні від існуючих забруднень і наносять шар (або декілька шарів) приготовленої гідрофобної композиції. Приблизно через 30 хвилин після нанесення ГП вулканізується і гідрофобізована електроізоляційна конструкція може експлуатуватися.

Таким чином, перевагою розробленого КОК у порівнянні з аналогами і прототипом є підвищення надійності та збільшення терміну служби наносимого завулканізованого ГП, оптимізація його складу, 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.

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 того, одержуване ГП на основі КОК зазначеного складу в вулканізованому стані має поліпшені експлуатаційні властивості у порівнянні з відомими покриттями (див. табл.4).

Таблиця 4

Діелектричні характеристики покриттів, отриманих на основі розробленої композиції на основі однокомпонентної КОК холодного твердіння

Склад	питомий об'ємний опір ρ_v , не менше	Питомий поверхневий опір ρ_s , не менше	тангенс кута діелектричних втрат, $\tan\delta$, не більше	Відносна діелектрична проникність, ϵ , не менше
Згідно формули	$4,82 \times 10^{14}$	$2,0 \times 10^{15}$	0,008	3,11

Крім того, розроблений КОК характеризується у вулканізованому стані питомим об'ємним електричним опором ρ_v не менше $3,0 \times 10^{14}$ Ом \times см, питомим поверхневим електричним опором ρ_s не менше $1,0 \times 10^{15}$ Ом, тангенсом кута діелектричних втрат $\tan\delta$ при частоті 50 Гц не більше 0,008, умовною розривною міцністю при розтягуванні не менше 0,55 МПа, відносним подовженням при розриві не менше 100 %, електричною міцністю у дистильованій воді не менше 10 кВ/мм, а також міцністю зв'язку з металом при відшаруванні не менше 0,60 Н/м.

Оптимізація складу і співвідношення компонентів КОК, в свою чергу, дозволяє зменшити втрати витратних матеріалів при гідрофобізації поверхні електроізоляційних конструкцій покриттям на основі КОК.

Ефективність застосування розробленого КОК при його використанні в технології нанесення ГП механізованим способом підтверджується більш ніж 15-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. Способ повышения влагоразрядного напряжения высоковольтной изоляции. Патент UA№77628. МПК (2006) H01B17/50 (2006.01) H01B19/00, опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Гідрофобний кремнієорганічний компаунд для електроізоляційних конструкцій на основі одно- або двопакувальних кремнієорганічних композицій холодного твердіння, який містить силіконовий низькомолекулярний каучук, наповнювач, а також і отверджувач або каталізатор, який **відрізняється** тим, що компаунд у вулканізованому стані характеризується величиною крайового кута змочування, що становить від 60° до 179°, трекінгоерозійною стійкістю при тривалості випробувань, що становить не менше 500 год., при робочих напругах 6-750 кВ, а також лугостійкістю, яка характеризується значенням струму дуги не менше 100 мА при тривалості впливу не менше 600 с.

2. Компаунд за п. 1, який **відрізняється** тим, що він у невулканізованому стані характеризується життєздатністю при температурі від 15 °С до 35 °С в межах 15-60 хв., а в вулканізованому стані характеризується умовною розривною міцністю при розтягуванні не менше 0,55 МПа, відносним подовженням при розриві не менше 100 %, питомим об'ємним електричним опором ρ_v не менше $3,0 \times 10^{14}$ Ом \times см, питомим поверхневим електричним опором ρ_s не менше $1,0 \times 10^{15}$ Ом, тангенсом кута діелектричних втрат $\tan\delta$ при частоті 50 Гц не більше

0,008, електричною міцністю у дистильованій воді не менше 10 кВ/мм, а також міцністю зв'язку з металом при відшаруванні не менше 0,60 Н/м.

3. Компаунд за п. 1, який **відрізняється** тим, що він у 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.

4. Компаунд за п. 1, який **відрізняється** тим, що як силіконовий низькомолекулярний каучук він містить каучук марки СКТН, як наповнювач він містить як твердий наповнювач у вигляді гідрату окису алюмінію і сажі ацетиленової, так і рідкий наповнювач у вигляді низькомолекулярної кремнієорганічної рідини марки 119-215, а як отверджувач компаунд містить метилтриацетоксисилан.

5. Компаунд за п. 4, який **відрізняється** тим, що він містить на 100,0 мас.ч. каучуку 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 отверджувач у кількості (2,5-6,5) мас. ч.

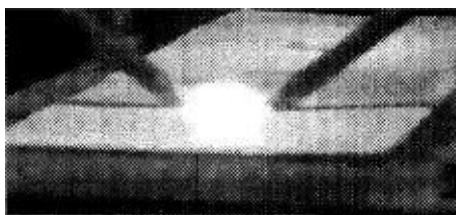


Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4

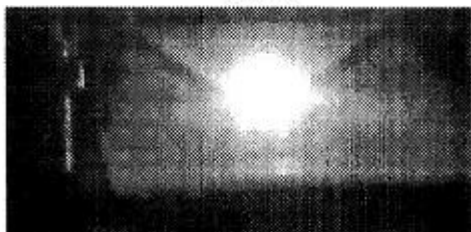


Fig. 5



Fig. 6

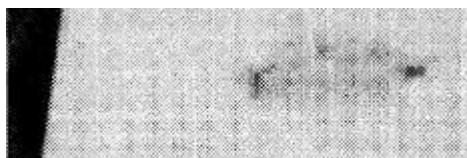


Fig. 7



Fig. 8

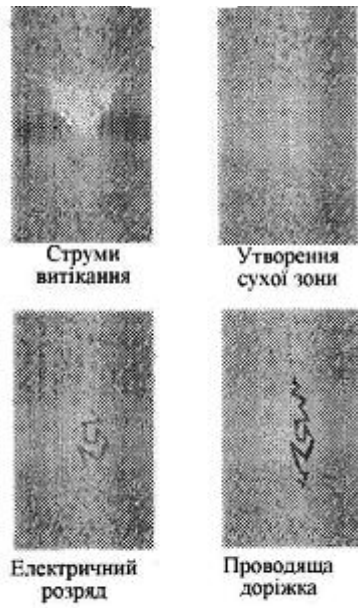


Fig. 9

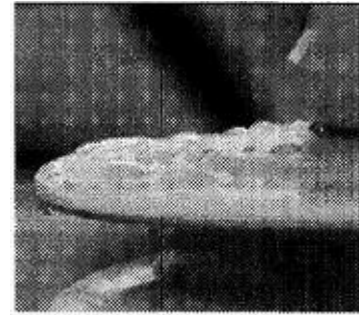


Fig. 10



Fig. 11



Fig. 12



Fig. 13

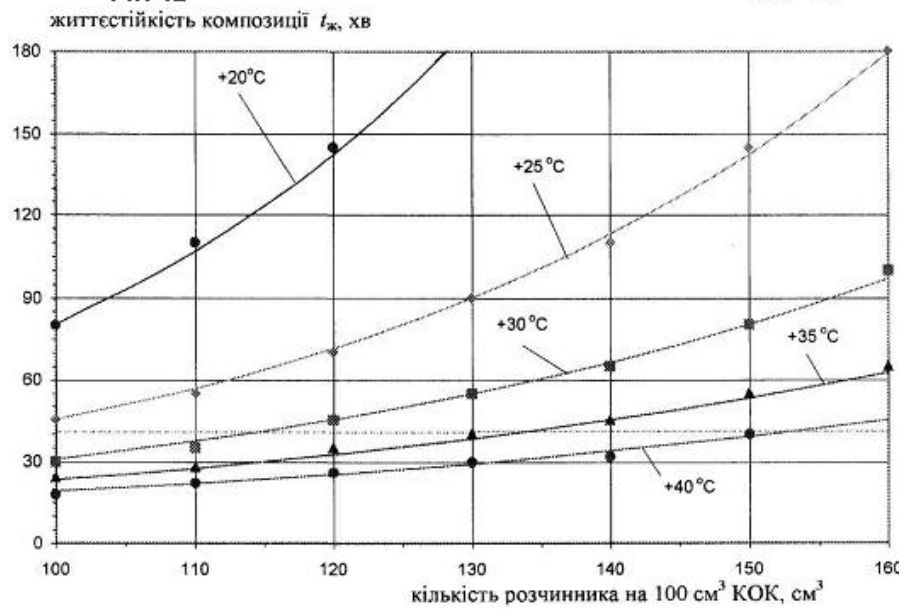


Fig. 14

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