

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

КУКС СЕРГІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ЛІНІЙНИХ ІЗОЛЯТОРІВ
ДЛЯ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

05. 09. 13 - техніка сильних електричних і магнітних полів

**Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Харків-1997



00751917 (U)

Робота виконана у Слов'янському Науково-Дослідному Інституті
Високих Напруг.

Науковий керівник: кандидат технічних наук,
Кім Єн Дар.

Офіціальні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кононов Борис Тимофійович;
кандидат технічних наук, доцент
Гурин Анатолій Григорович.

Провідне підприємство: Харківська державна академія
міського господарства.

Захист відбудеться "26" червня 1997 р. в аудиторії _____ в _____ годин _____ хв.
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 02.09.15 у Харківському державному
політехнічному університеті (310002, Харків, МСП, вул. Фрунзе, 21).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці університету.

Автореферат розісланий "20" травня 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради  Єгоров Б.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підвищення експлуатаційної надійності лінійної скляної ізоляції в екстремальних умовах експлуатації (сильно цементуючі природні, промислові забруднення, солеві забруднення, підвищена вологість, температура) має дуже важливе значення в ізоляторобудуванні. Особливість подібних умов експлуатації полягає в тому, що тут має місце термічне та електрохімічне руйнування ізоляційної деталі (ІД), а також металевої арматури ізоляторів.

Перспективним напрямком вирішення цих проблем є модернізація конструкції брудостійких скляних ізоляторів з метою підвищення їх термічної стійкості, модернізація ізоляторів з гладкою (аеродинамічною) формою ІД з метою зниження їх забрудненості. Розробка ізоляторів для екстремальних умов експлуатації передбачає і створення відповідних методик лабораторних випробувань, які адекватно відображали б реальні умови експлуатації. Вирішення цієї проблеми є необхідним в експлуатації лінійної скляної ізоляції в районах з вологим тропічним та субтропічним кліматом.

Мета роботи. Обґрунтування можливості експлуатації ізоляторів з гладкою формою ІД в районах з VI СЗА; теоретичне та експериментальне дослідження впливу конструктивних параметрів ІД на термічну стійкість; розробка методики визначення аеродинамічних властивостей ІД ізоляторів; визначення закономірностей руйнування ізоляційного скла та металевої арматури ізолятора, під час дії факторів тропічного клімату, розробка методів випробувань елементів лінійного ізолятора на тропічності.

Наукова новизна роботи. Експериментально підтверджено вплив конфігурації ІД в приелектродній області на стійкість до дії ПР; сформульовані критерії моделювання процесів забруднення ізоляторів в лабораторних умовах; визначені принципи конструювання аеродинамічних ізоляторів; визначені особливості електричних процесів на поверхні ІД під час дії факторів вологого тропічного клімату; визначені залежності швидкості корозії ізоляційного скла, антикорозійних покриттів під час спільної дії факторів тропічного клімату та поверхневих струмів витоку; доведена можливість експлуатації ізоляторів з лужного скла в районах з тропічним кліматом.

На захист виносяться наступні основні положення: методи підвищення стійкості скляних ізоляторів до дії ПР; ізолятор з підвищеною стійкістю до дії ПР; методика дослідження аеродинамічних ізоляторів; отримані залежності інтенсивності забруднення ізоляторів від геометричних параметрів ІД; конструкція ізолятора з поліпшеними аеродинамічними характеристиками; методика кліматичних випробувань лінійних ізоляторів.

Л. М. М. В. Стефанька
АН У

Практична цінність роботи полягає в тому, що запропонована методика дослідження аеродинамічних характеристик ізоляторів; визначені основні співвідношення, що встановлюють взаємозв'язок забрудненості, стійкості до ПР ізолятора з його основними геометричними розмірами; спроектовані і впроваджені в виробництво ізолятори для районів з екстремальними умовами експлуатації; розроблена методика кліматичних випробувань лінійних ізоляторів.

Реалізація роботи. Результати дисертаційної роботи використані в Науково-дослідному інституті високих напруг (НДІВН).

Апробація роботи. Матеріали дисертації доповідались на науково-технічних конференціях в м. Баку (липень, 1981 р.), в м. Ташкенті (листопад, 1983 р.), на науково-технічних нарадах в НДІПС (м. Ленінград, жовтень 1982, 1983 р.), в ВНДІЕ (м. Москва, листопад 1981 р.), на Міжнародній нараді по високовольтній ізоляції в Югославії. (м. Аранджіловац, жовтень 1989 р.)

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано в одинадцятьох працях.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, переліку посилань із 123 найменувань, 74 рисунків, 36 таблиць, 4 додатків, містить 135 сторінок машинописного тексту, обсяг роботи 234 сторінки.

Вступ. Показані актуальність дисертаційної роботи, особливості експлуатації скляних ізоляторів в районах з інтенсивними природними і промисловими забрудненнями, з вологим тропічним кліматом. Сформульовані мета і задачі досліджень.

Перший розділ. Експлуатаційна надійність лінійної ізоляції в районах з екстремальними умовами експлуатації. Основними конструктивними параметрами лінійних ізоляторів є довжина шляху витоку (L), будівельна висота (H), діаметр ізоляційної деталі (D). В якості основних конструктивних напрямків, що забезпечують підвищення питомих розрядних напруг по будівельній висоті (E_H) і по довжині шляху витоку (E_L), прийнято збільшення розвинутості поверхні за рахунок збільшення L/H при прагненні до малогабаритності ізолятора за рахунок зменшення H/D . Таким чином, у ізоляторів звичайного виконання величина L/H знаходиться на рівні 2.2, у ізоляторів спеціального (брудостійкого) виконання - 2.5-3.1.

Але при збільшенні L/H ($H = \text{const}$) ізолятора його розрядні напруги (U_p) зростають повільніше ніж збільшується L , що пояснюється двома причинами: з одного боку, при збільшенні L зростає ступінь забруднення ІД, з іншого - ізолююча спроможність ізолятора погіршується внаслідок шунтування повітряного проміжку між ребрами. Таким чином при виборі ізоляції використовується не дійсна (геометрична), а ефективна довжина шляху витоку (L_e):

$$L_e = \frac{L_T}{K_n},$$

де K_n - коефіцієнт ефективності (використання довжини шляху витоку);

L_T - геометрична довжина шляху витоку;

L_e - ефективна довжина шляху витоку.

Руйнування скляних ізоляторів мають місце при наявності на їх поверхні забруднень щільністю (ξ) понад 10 мг/см^2 і провідністю (χ) вище 20 мкСм під час дії ПР.

Під час горіння часткового розряду на поверхні забрудненого ізолятора рівняння ланцюга можна записати наступним чином :

$$U = [A * I_d / I^{1+n} + R_n(I_d)]I,$$

де I_d - довжина поверхневої дужки;

I - струм дужки;

A, n - сталі дуги;

$R_n(I_d)$ - опір неперекритої дугою частини поверхні ізолятора.

Звідси був визначений струм розряду на забрудненій поверхні ізолятора в залежності від рівня ізоляції (λ_e) і χ (рис. 1). Встановлено, що навіть при

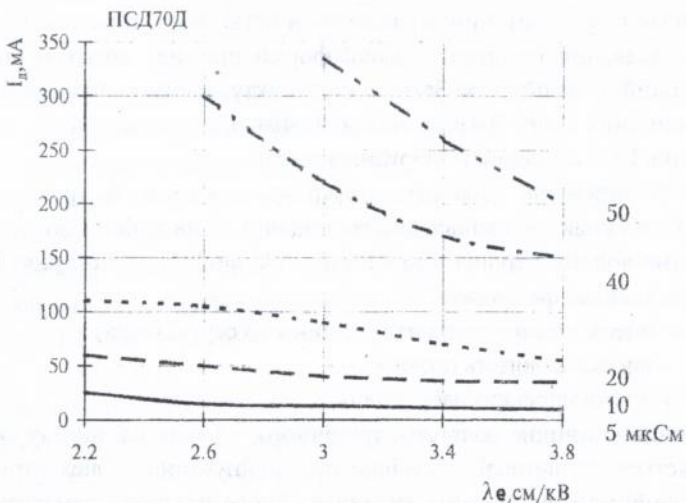


Рис.1. Залежність струму дуги від рівня ізоляції та провідності забруднення.

робочих напругах в районі із VI СЗА ($\lambda = 3.1$ см/кВ, $\chi = 20$ мкСм) струм ПР досягає 80 - 100 мА, а питома потужність ПР - приблизно $(1.1-1.4) \cdot 10^6$ Вт/м², при цьому термічні напруги в склі можуть перевищити безпечний рівень.

Проблема вибору оптимальної конструкції ізолятора зводиться до визначення залежності між конфігурацією ІД і характером відкладання забруднень, тобто до оптимізації форми ІД з урахуванням її аеродинамічних характеристик. Відомо, що самоочищення поверхні визначається як

$$\overline{S} = \overline{V}_{nx} * \overline{V}_{sx}$$

де \overline{V}_{nx} , \overline{V}_{sx} - відповідно нормальна і дотична складові вектора швидкості повітря. Звідки оптимальний кут нахилу (α) поверхні відносно набігаючого струменю визначається із умови

$$\frac{\partial |\overline{S}|}{\partial \alpha} = 0,$$

з якої витікає, що максимальне значення α , коли ще проявляється очисна дія вітру, складає 45°. Величина цього кута одержана з урахуванням забруднення тільки верхньої частини ізолятора. З іншого боку, надійність ізолятора визначається більшим чином забрудненістю його нижньої поверхні. Таким чином, надавання ізолятору гладкої форми ще не дозволяє підвищити його експлуатаційну надійність. Звідси надто актуальним є проведення спеціальних аеродинамічних випробувань з метою визначення взаємозв'язку конструктивних параметрів ІД зі ступенем її забруднюваності.

З поширенням експорту, зокрема в країни із тропічним кліматом, з'являються умови, що виявляють специфічні дії на лінійну ізоляцію. Основними чинниками вологого тропічного клімату, що виявляють несприятливий вплив на ізолятори із скла і фарфору є:

- висока температура навколишнього середовища;
- висока вологість повітря;
- вплив морських забруднень.

Вплив чинників вологого тропічного клімату на лінійну скляну ізоляцію проявляється у вигляді хімічного руйнування діелектрика ізолятора, електрохімічного руйнування антикорозійного покриття арматури, інтенсивних соляних забруднень.

Найбільш характерною максимальною температурою для вологих тропіків є 40°C. При такій температурі швидкість корозійного руйнування ізоляційного скла в умовах підвищеної вологості та соляних забруднень збільшується в 16-40 разів. Тому принциповим стає питання про використання ізоляторів з лужного скла, як найбільш технологічних, в подібних районах. Інша особливість

експлуатації ізоляторів в вологих тропіках полягає в інтенсивному корозійному руйнуванні арматури ізолятора. Вважається, що основною причиною інтенсивної корозії є особливість поверхневих електричних процесів.

У вологих тропіках в приморській зоні через підвищену температуру вміст солі в атмосфері вищий, ніж в областях із помірним кліматом. Звідси виникає проблема визначення розрядних напруг лінійної ізоляції в умовах тривалого впливу соляних забруднень при підвищеній температурі, розробки відповідної методики випробувань.

Розділ, другий. Дослідження працездатності лінійних ізоляторів в районах з інтенсивними забрудненнями. Одним із перспективних напрямків підвищення розрядних напруг лінійної ізоляції в забруднених районах є застосування ізоляторів з гладкою (аеродинамічною) формою ІД, довжина шляху витoku яких на 10-20% використовується краще. Для вирішення питання, пов'язаного з використанням даних типів ізоляторів в районах із VI СЗА, були проведені відповідні натурні випробування ізоляторів в районах з інтенсивними промисловими і природними забрудненнями.

Критерієм оцінки переваги ізолятора був вибраний коефіцієнт ефективності

$$K_{\text{и}} = \frac{E_{L1}}{E_{L2}},$$

де $K_{\text{и}}$ - коефіцієнт ефективності і-того ізолятора;

E_{L1} - розрядний градієнт еталонного ізолятора;

E_{L2} - розрядний градієнт порівнюваного ізолятора.

За результатами випробувань був одержаний важливий практичний висновок: так як коефіцієнт ефективності ізолятора не залежить від зони забруднення, можна казати тільки про перевагу цієї чи іншої конструкції як такої, не по'язуючи це з зоною забруднення. По даному критерію ізолятори з гладкою формою ІД мають перевагу перед ізоляторами з розвиненою поверхнею ІД.

Був розрахований параметр $L_{\text{эф}}/H$, котрий дає наочну картину при наданні переваги (без врахування вартості) одного типу ізолятора перед іншими. Чим більший $L_{\text{эф}}/H$, тим менше ізоляторів необхідно мати в гірлянді без зміни її надійності за електричною міцністю. Встановлено, що $L_{\text{эф}}/H > 2,48$ є найбільш оптимальним значенням. Саме при таких значеннях $L_{\text{эф}}/H$ спостерігається тенденція збільшення $U_{50\%}$, при цьому ізолятори з гладкою формою ІД відповідають цій вимозі.

Таким чином, результати натурних випробувань показали можливість застосування аеродинамічних ізоляторів в районах з забрудненою атмосферою аж до VI СЗА.

Оскільки в забруднених районах надійність скляних ізоляторів знижується за рахунок термічної дії ПР, виникає необхідність дослідження впливу конфігурації ІД і на термічну стійкість.

Випробуваннями ізоляторів ПСД70Д із лужного скла при щільності забруднення від 10 до 40 мг/см² встановлено, що періоди повного руйнування ІД або поява макроскопів (з розмірами понад 10 мм) ребер характеризуються дією струмів з амплітудою $25 < I_{кр} < 50$ мА.

На підставі аналізу функціональної залежності між довжиною поверхневої дуги і її струмом

$$U = I_d * [R_n(I_d) + A I_d / I_d^{1+n}]$$

був визначений гранично можливий струм дуги для всіх режимів випробувань. Зіставлення залежності $I_d = f(I_d)$ з певною областю критичних струмів дозволило встановити, що коли $\xi > 20$ мг/см² із збільшенням λ_e струм ПР хоч і знижується, але знаходиться в області критичних струмів. Звідси впливає надто важливий практичний висновок: в умовах - інтенсивних забруднень ($\xi > 20$ мг/см²) збільшення рівня ізоляції кількості ізоляторів в гірлянді не є ефективним засобом підвищення термічної стійкості скляних ізоляторів.

Оскільки поверхневі розрядні процеси залежать не тільки від характеру забруднення, але і від форми ізоляційної деталі, то результати дії високої напруги на забруднені ізолятори з різною конфігурацією при зволоженні будуть неідентичними.

Випробувались ізолятори, чії конфігурації ІД істотно відрізнялись: ПСД70Д (двокрила форма ІД); ПС70Д (ребристий низ ІД), ПКС70 (гладка форма ІД), при $\xi = 20$ мг/см² і $\lambda_e = 3.1$ см/кв (ВІСЗА). За результатами випробувань було показано, що на стійкість до дії ПР істотно впливає конфігурація нижньої поверхні ІД: тривалість випробувань до руйнування у ізоляторів з гладкою формою ІД в 3-4 рази вища. Підвищена термічна стійкість ізоляторів з гладкою формою ІД визначається, з одного боку, різницею механізмів руйнування діелектрика, з іншого - більш низькою інтенсивністю поверхневих розрядних процесів.

Виходячи з вищеотриманих результатів був розроблений і виготовлений з лужного скла складу 7 дослідний брудостійкий ізолятор ПСД70, що відрізняється від серійного ПСД70Д лише конфігурацією нижньої поверхні ІД, а саме, відсутністю ребер на нижній поверхні ІД (рис.2). За даними випробувань, якщо середній час до руйнування ПСД70Д складав 83 год., то ПСД70 - 290 год.

Враховуючи, що модернізований ізолятор має довжину шляху витoku приблизно на 14% меншу, ніж серійний ізолятор, були проведені випробування по визначенню розрядних характеристик при штучному забрудненні відповідно до ГОСТу 10390-86.

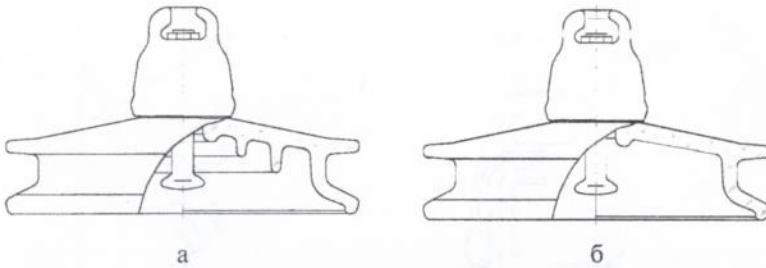


Рис. 2. Серійний (а) та дослідний (б) брудостійкий ізолятор.

Встановлено, що значення залежності $U_{50\%} = f(\chi)$ для дослідного і серійного ізоляторів незначно відрізняються і знаходяться в межах викиду. Менша довжина шляху витoku ПСД70 компенсується кращим її використанням.

Перевага модернізованого ізолятора ПСД70, виготовленого з малолужного скла, за стійкістю до дії ПР залишається суттєвою навіть коли $\xi = 60 \text{ мг/см}^2$.

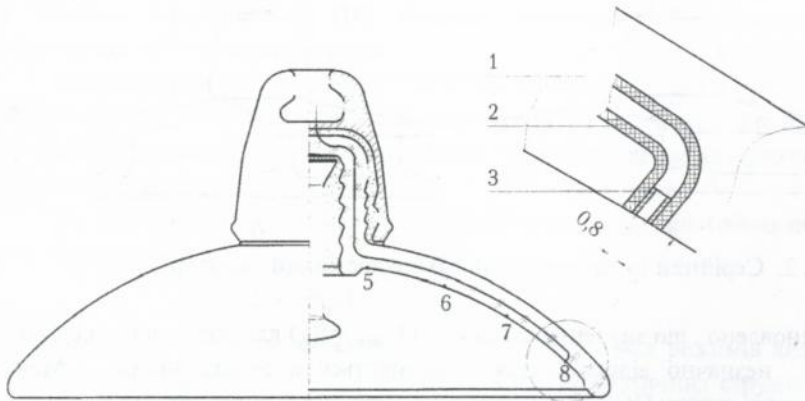
Розділ 3. Розробка ізолятора з покращеними аеродинамічними характеристиками. В умовах лабораторних випробувань найбільш повно реальні процеси забруднення ізоляторів можна моделювати в аеродинамічній трубі (АТ). В АТ моделювалися процеси осадження цементних забруднень при швидкості (V) повітряного струменю 3м/с, як найбільш можливий і несприятливий. В якості моделюючої речовини застосовувався розплавлений парафін, використання якого дозволяло одержати стабілізований шар забруднення на ізоляторах за 4-5 хв.

Швидкість переміщення аерозольних часток в АТ вибиралася з умови рівності критеріїв подібності процесу осадження за Стоксом для парафіну (St_p) і цементу (St_c). Використовувався метод співставлення розподілу коефіцієнтів статичного тиску (C_p) по поверхні ізоляційної деталі з зонами осадження штучного забруднення. Для дослідження розподілу коефіцієнта статичного тиску (C_p) по довжині шляху витoku ізолятора використовувались дренавані моделі (рис.3.).

Виміри C_p проводились при зміні кута обтікання β від 0 до 180° шляхом повороту дренавної моделі, відносно напрямку повітряного струменю. Випробовувалися гладкі ізолятори зі сферичною формою ІД і конічні з кутами нахилу ІД (α) 7, 15, 25, 36°. На підставі співставлення розподілу C_p (рис. 4, 5) по довжині витoku ізолятора і характеру відкладання забруднення були визначені критерії осадження аерозольних часток:

$$\frac{\partial C_p}{\partial \beta} < 0 - \text{для верхньої частини ІД,}$$

$$C_p < 0 - \text{для нижньої частини ІД.}$$



1 - ізоляційна деталь; 2 - поліхлорвінілова трубка; 3 - штуцер;
5,6,7,8 - точки вимірювання статичного тиску.

Рис. 3 Дренована модель ізолятора.

Були сформульовані принципи конструювання ізолятора з поліпшеними аеродинамічними характеристиками: аеродинамічні характеристики можна покращити шляхом утворення комбінованої форми ІД. Ізоляційна деталь повинна мати сферичну форму в області шапка - стержень, причому кут між дотичною (ϕ), проведеною до сферичної частини із точки спряження тарілки з силовим вузлом ІД, повинен складати 15° , і кінцеву форму біля краю ІД з кутом нахилу $20-25^\circ$ (рис. 6).

Розділ 4. Натурні випробування модернізованих ізоляторів. Для натурних випробувань модернізованих ізоляторів ПСД70 (двокрила ІД з гладкою нижньою поверхнею), ПСК 70 (ІД типу сфера-конус) був вибраний екстремальний за умовами експлуатації район, для якого характерні інтенсивні цементні забруднення в поєднанні з морськими виносками. Для порівняння випробовувалася широка гама ізоляторів з фарфору і загартованого скла.

Була визначена особливість забруднення нижньої частини ІД ізолятора ПСК 70 (сфера-конус). Як і припускалося, даний ізолятор менше піддається забрудненню, тобто результати натурних випробувань підтвердили коректність методики аеродинамічних випробувань.

Серед ізоляторів брудостійкого виконання найменше піддається забрудненню модернізований ізолятор ПСД70. Якщо у серійних ізоляторів ПСД70 Д, ПСВ70 середня щільність забруднення нижньої частини ІД складала відповідно $30,8$ і $31,06$ $\text{мг}/\text{см}^2$, то у ПСД70-23, 01 $\text{мг}/\text{см}^2$.

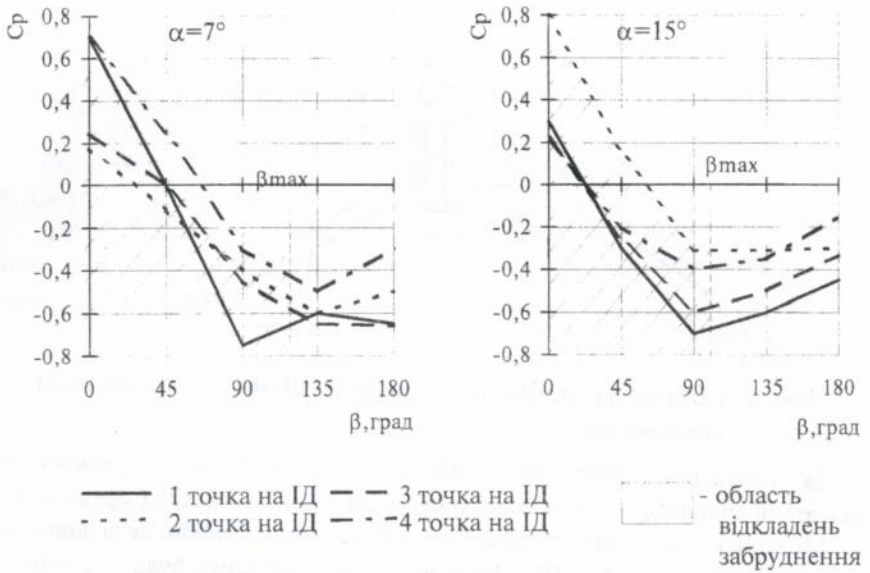


Рис. 4. Розподіл коефіцієнту статичного тиску на верхній частині ІД

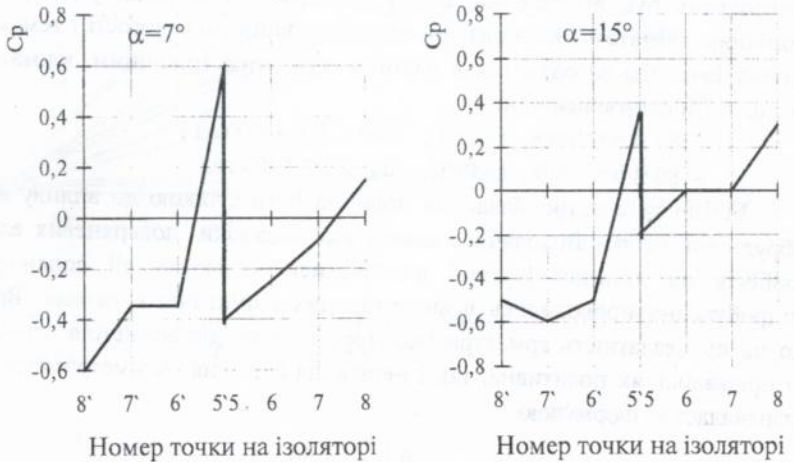


Рис. 5. Розподіл коефіцієнту статичного тиску на нижній частині ІД

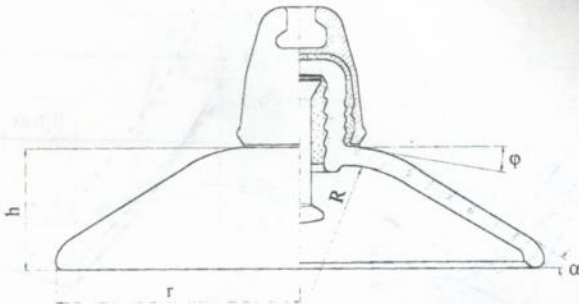


Рис. 6. Ізолятор з поліпшеними аеродинамічними характеристиками типу сфера-конус.

За розрядною напругою найбільш сприятливими для даних умов експлуатації виявились модернізовані ізолятори ПСД70 і ПСК70 (сфера-конус).

Модернізовані ізолятори серед ізоляторів із загартованого скла виявились і найбільш стійкими до дії ПР. Імовірність їх руйнування була в 2.5-10 разів нижчою.

Розділ 5. Розробка методики випробувань лінійних ізоляторів для районів з вологим тропічним кліматом. Під час опрацювання методики кліматичних випробувань був проведений аналіз температурно-вологих умов в районах з тропічним кліматом. Встановлено, що дія підвищеної вологості і температури на лінійну ізоляцію за один рік в районах з вологим тропічним кліматом можна розподілити слідуючим чином :

- $80 \leq \delta \leq 100\%$, $t=20^\circ\text{C}$, $3000 \leq T \leq 4000$ год ;
- $80 \leq \delta \leq 100\%$, $t=40^\circ\text{C}$, $300 \leq T \leq 6400$ год.

Більшість електрообладання повинна бути стійкою до впливу атмосфери, забрудненої сіллю. Виходячи з цього, взаємозв'язки поверхневих електричних процесів на лінійній ізоляції визначались в умовах дії соляного туману. Випробування проводились в вищезгаданих кліматичних умовах. Враховуючи, що на працездатність арматури ізолятора суттєво діє асиметрія струмів витоку, вимірювались як позитивна, так і негативна складові. Асиметрія струмів витоку визначалась за формулою

$$j = \frac{\sum n_i I_i^+ - \sum n_i I_i^-}{\sum n_i I_i^-} * 100\%$$

де I_i^+ - і-та амплітуда імпульсу струму позитивної полярності, мА;
 I_i^- - і-та амплітуда імпульсу струму негативної полярності, мА;
 n_i - кількість імпульсів струму і-тої амплітуди.

Узагальнюючим параметром, що характеризує швидкість корозії металевої арматури, був визначений параметр

$$\Theta = j * I_y,$$

де I_y - середнє значення позитивної складової асиметрії струму витоку;
 j - ступінь асиметрії струму витоку.

Визначено, що значенням Θ_m відповідають рівні асиметрії струму витоку 70% для $t=20^\circ\text{C}$ і 63% - для $t=40^\circ\text{C}$.

Для проведення кліматичних випробувань було прийнято $j_{cp}=65\%$. Таким чином, визначені діапазони зміни кліматичних факторів були доповнені величинами електричних параметрів :

$$I - 80 \leq \delta \leq 100\%, t=20^\circ\text{C}, 3000 \leq T \leq 4000 \text{ год.}, I_y = 0.6\text{mA}, j=65\%;$$

$$II - 80 \leq \delta \leq 100\%, t=40^\circ\text{C}, 300 \leq T \leq 400 \text{ год.}, I_y = 0.8\text{mA}, j=65\%.$$

Дослідження корозійної стійкості скла проводилися під час дії трьох видів реагентів: вода, 0.5%- вий розчин MgCl_2 , 3% - вий розчин NaCl при температурах від 20 до 80°C . Вибір концентрації солі був обумовлений вмістом MgCl_2 і NaCl в морській воді.

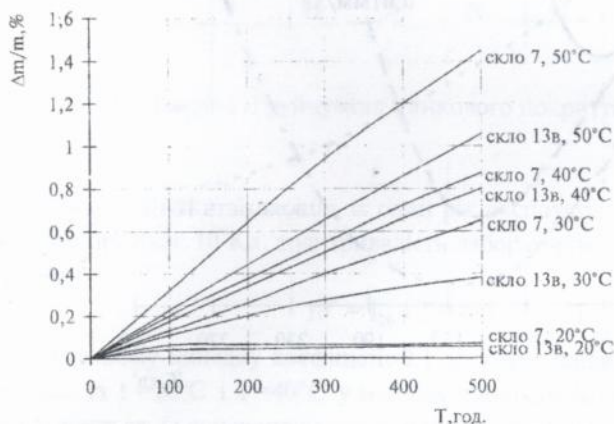
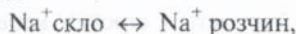


Рис. 7. Кінетичні криві корозійного руйнування скла 7, 13в в 0,5% розчину MgCl_2

3% р-н $\text{NaCl} - \text{H}_2\text{O} - 0.5\%$ р-н MgCl_2 .

Малі швидкості корозії ізоляційного скла в розчині NaCl пояснюються протіканням обмінних процесів



заторможуючих основну реакцію



Порівняльний

аналіз показує, що корозійна стійкість малолужного скла вища, причому із збільшенням температури різниця в швидкостях корозії між складами 7 і 13в збільшується (рис.7). Корозійна активність вибраних водних розчинів розташовується у ряду в порядку зростання наступним чином :

За результатами експериментальних досліджень корозійного руйнування ізоляційного скла під час впливу чинників тропічного клімату з урахуванням і без урахування електричних дій встановлено, що глибина руйнування скла за період 30 років не перевищує 1мм, що не призводить до повного руйнування ІД.

Взаємодія кліматичних факторів і струму витoku найбільше впливає на зниження розрядних характеристик ізоляторів і руйнування антикорозійного покриття його металевої арматури (особливо стержня). Були обґрунтовані умови визначення розрядних напруг ізоляторів під час тривалої дії соляного туману. Зокрема, враховуючи більш істотне зниження поверхневого опору R_s ізоляторів коли $t=40^\circ\text{C}$, визначення розрядних напруг при даній температурі є найбільш правомірним. Інтенсивність зволоження (J) повинна складати 0,005 мм/хв. Оскільки при даному значенні J відбувається найбільше зниження R_s (рис. 8).

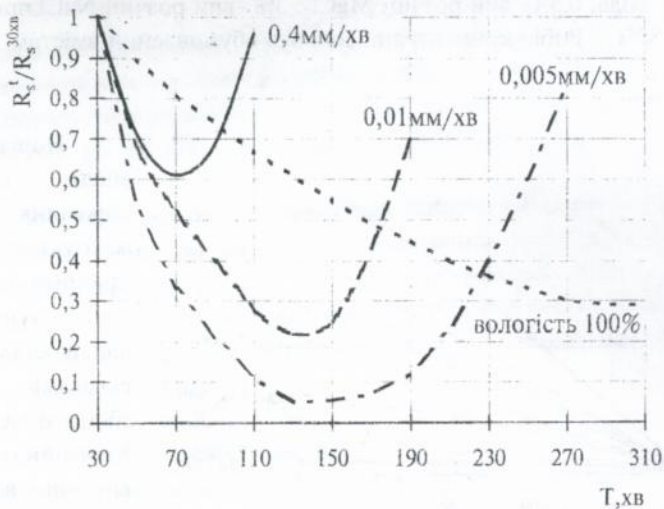


Рис. 8. Залежність зміни поверхневого опору ізолятора ПСД70Д від тривалості та інтенсивності зволоження.

Дослідження динаміки руйнування антикорозійного покриття арматури ізолятора проводилися при $t=20^\circ\text{C}$ і $t=40^\circ\text{C}$ під час зміни асиметрії струму витoku від 10 до 70%. Для випробувань використовувались зразки типу шапка - стержень. Встановлено, що між швидкістю руйнування цинку і концентрацією розчину NaCl не спостерігається строгої кореляції. Це пояснюється тим, що в даному випадку домінуючим механізмом руйнування покриття є електрокорозія, а не хімічна корозія.

В той же час, із збільшенням температури із 20 до 40°C швидкість руйнування антикорозійних покриттів зростає в 1.6 раза (рис.9). Тому, не зважаючи на те, що тривалість періоду із $t=40^\circ\text{C}$ порівняно із $t=20^\circ\text{C}$ в 10 разів менша, втрати ваги антикорозійних покриттів можуть бути чималими.

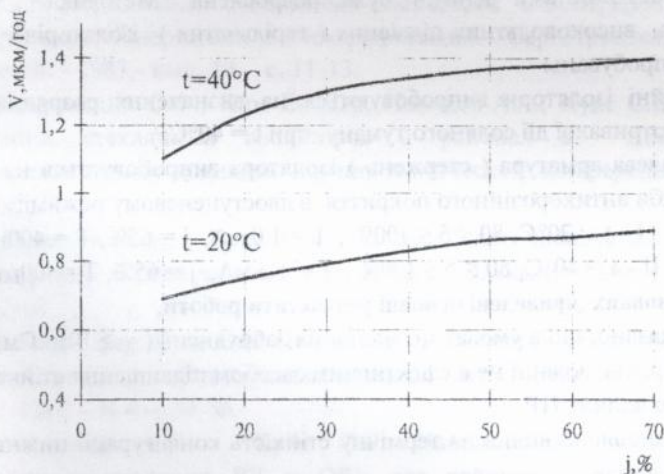


Рис. 9. Швидкості руйнування цинкового покриття при 20 та 40°C

Якщо зважити на те, що за один рік експлуатації у вологих тропіках через ізолятор протікає 10^4 Кл, тоді тривалість лабораторних випробувань визначиться з умови:

$$10^4 = I_{20} * T + 0.1 * I_{40} * T.$$

В даному випадку коефіцієнт 0.1 враховує співвідношення між тривалістю періодів із $t=20^\circ\text{C}$ і $t=40^\circ\text{C}$ у вологих тропіках. Коли $I_{y20} = 1\text{mA}$ і $I_{y40} = 1.3\text{mA}$ (визначається із співвідношення амплітуди струмів при $t=20^\circ\text{C}$ і $t=40^\circ\text{C}$) будемо мати

$$10^4 = 10^{-3} * T + 0.1 * 1.3 * 10^{-3} * T,$$

звідки

$$T \approx 2400 \text{ год.}$$

або, враховуючи коефіцієнт прискорення, отриманий на зразку шапка-стержень, загальна тривалість лабораторних досліджень складає

$$T = \frac{2400}{5.5} \approx 440 \text{ год.}$$

При моделюванні одного року експлуатації тривалість лабораторних випробувань складе :

- при $t = 20^{\circ}\text{C}$ - 400 год.;
- при $t = 40^{\circ}\text{C}$ - 40 год.

За результатами іспитів була розроблена "Методика кліматичних випробувань високовольтних підвісних (тарільчатих) ізоляторів", що включає два види випробувань:

- лінійні ізолятори випробовуються на визначення розрядних напруг в умовах довготривалої дії соляного туману, при $t = 40^{\circ}\text{C}$;

- металева арматура (стержень) ізолятора випробовується на визначення строку служби антикорозійного покриття в двоступеневому режимі:

I - $t = 20^{\circ}\text{C}$, $80 \leq \delta \leq 100\%$, $I = 1.0 \text{ mA}$, $j = 65\%$, $T = 400 \text{ год.}$;

II - $t = 40^{\circ}\text{C}$, $80 \leq \delta \leq 100\%$, $I = 1.3 \text{ mA}$, $j = 65\%$, $T = 400 \text{ год.}$

У висновках приведені основні результати роботи.

1. Показано, що в умовах інтенсивних забруднень ($\chi \geq 10 \text{ мкСм}$, $\xi \geq \text{мг/см}^2$) збільшення рівня ізоляції не є ефективним засобом підвищення стійкості скляних ізоляторів до впливу ПР.

2. Встановлено вплив на термічну стійкість конфігурації нижньої поверхні ізоляційної деталі.

3. Обґрунтована конструкція ізолятора брудостійкого виконання з підвищеною термічною стійкістю до впливу ПР.

4. Показана можливість експлуатації ізоляторів з гладкою формою ізоляційної деталі в районах з VI СЗА.

5. Розроблена методика аеродинамічних випробувань лінійних ізоляторів.

6. Показано, що ізолятори з комбінованою формою ізоляційної деталі (типу сфера-конус) мають покращені аеродинамічні характеристики.

7. Обґрунтовані основні геометричні розміри ізоляційної деталі ізоляторів типу сфера-конус.

8. Натурні випробування в екстремальних умовах модернізованих ізоляторів показали високу їх експлуатаційну надійність.

9. Обґрунтовані види кліматичних випробувань лінійних ізоляторів.

10. Визначені характеристики поверхневих струмів витоку, тривалості їх дії при кліматичних випробуваннях лінійних ізоляторів.

11. Результати роботи використані при розробках лінійних ізоляторів класів 70 і 120 кВ, при кліматичних випробуваннях лінійних ізоляторів, призначених для експлуатації в країнах з вологим тропічним кліматом.

Публікації по дисертаційній роботі.

1. Покровский С.Ф., Ким Ен Дар, Новиков А.А., Кукс С.В. Особенности эксплуатации стеклянных изоляторов в районах с интенсивными промышленными загрязнениями // Электрические станции.-1983.-№6.-с.53-55.
2. Покровский С.Ф., Ким Ен Дар, Новиков А.А., Кукс С.В. Исследование устойчивости загрязненных стеклянных изоляторов к поверхностным разрядам // Информэнерго Энергетика и электрификация. Сер.Строительство сельских электросетей. - 1983.- вып. 10. - с. 11-13.
3. Покровский С.Ф., Ким Ен Дар, Новиков А.А., Кукс С.В. Особенности эксплуатации стеклянных изоляторов в районах с цементирующими загрязнениями: тезисы докладов научно-технической конференции. -Ташкент: 1983. - 57с.
4. Новиков А.А., Кукс С.В. и др. Опыт эксплуатации стеклянных изоляторов в зоне уносов доломитного завода // Электрические станции. -1984.- N 3 - с. 67-68.
5. Ким Ен Дар, Кукс С.В. Повышение надежности стеклянных изоляторов в районах с интенсивными промышленными загрязнениями // Электрические станции. -1985. - N 4.-с.54-56.
6. Злаказов А.Б., Кукс С.В. Направления конструирования и проектирования изоляции ВЛ и ОРУ для районов с различной степенью загрязненности атмосферы: Тезисы докладов научно-технической конференции. - Ташкент: 1986. - с.58-61.
7. Ким Ен Дар, Кукс С.В. и др. Сравнительные испытания линейной изоляции в аэродинамической трубе // Электрические станции.-1987.-N 7.- с.47-49.
8. Аксенов В.А., Кукс С.В., Злаказов А.Б., Ким Ен Дар и др. Исследование изоляторов с различными аэродинамическими характеристиками стеклодетали: тезисы докладов научно-технической конференции. -Ташкент: 1989. - 53с.
9. Ким Ен Дар, Тарасова Н.Ф. Кукс С.В. Влияние повышенного напряжения на стеклянные изоляторы // Электрические станции. -1988.-N 11. - с.69-72.
10. Ким Ен Дар, Кукс С.В. Изолятор с улучшенными аэродинамическими характеристиками // Энергетика и электрификация. - 1994. - N 1.с. 44-47.
11. А.с. 1379804 СССР, МКИ Н01 В 17/02. Высоковольтный подвесной изолятор / Ким Ен Дар, С.В. Кукс, О.В. Лазарев, В.И. Савченко (СССР). - N391471/24-07; заявл. 26.06.85.

Особистий внесок автора

В роботі 1 визначені критичні параметри шару забруднення лінійних ізоляторів; в роботах 2, 3 визначені критичні параметри поверхневих розрядів, їх взаємозв'язок з характеристиками шару забруднення; в роботі 4 показано, що в умовах інтенсивного забруднення збільшення рівня ізоляції не є ефективним засобом підвищення стійкості скляних ізоляторів до дії поверхневих розрядів; в роботі 5 обґрунтована конструкція брудостійкого скляного ізолятора с підвищеною стійкістю до дії поверхневих розрядів; в роботах 6, 8 показано, що в умовах інтенсивних забруднень ізолятори з аеродинамічною формою ізоляційної деталі мають високі експлуатаційні характеристики незважаючи на меншу довжину шляху витоку; в роботі 7 розроблена методика проведення аеродинамічних випробувань лінійних ізоляторів; в роботі 9 розроблена методика випробування скляних ізоляторів в умовах дії інтенсивних коронних розрядів; в роботах 10, 11 обґрунтована конструкція лінійного ізолятора з підвищеними аеродинамічними характеристиками.

ABSTRACT

Kuks S.V., "Researching and Development of Line Insulators for Extreme Hard Service Conditions". Manuscript: 05.09.13 - Strong Electric and Magnetic Fields Technology. Kharkov State Polytechnic University, 1996.

In this paper service properties of line glass insulation, while working under the influence of intensive atmospheric and industrial pollution in wet tropical regions, are shown in the connection with possibility of insulators and their items to be damaged when subjected to thermal and electrochemical action. Recommendations on increasing of glass insulators thermal resistance were developed and those on optimization of insulators design with smoothly shaped insulating item.

Recommendations were implemented in production of insulators for extremely hard service conditions. Also climatic testing technique on line insulators tropical stability was developed, taking into consideration the peculiarities of electrical process occurring on insulator surface.

АННОТАЦИЯ

Кукс Сергей Владимирович. Исследование и разработка линейных изоляторов для экстремальных условий эксплуатации. Рукопись. 05.09.13 - техника сильных электрических и магнитных полей. Харьковский государственный политехнический университет. Харьков, 1996 г.

Показаны особенности эксплуатации стеклянной линейной изоляции в районах с интенсивными загрязнениями и влажным тропическим климатом, связанные с возможностью термического и электрохимического разрушения изоляторов и его элементов.

Разработаны рекомендации по повышению термической устойчивости стеклянных изоляторов, оптимизации конструкции изоляторов с гладкой формой изоляционной детали. Рекомендации реализованы при производстве изоляторов для экстремальных условий эксплуатации. Разработана методика климатических испытаний линейных изоляторов, учитывающая особенности поверхностных электрических процессов.

Ключові слова.

Лінійні скляні ізолятори, термічне та електрохімічне руйнування, аеродинамічні характеристики ізоляторів, випробування на тропікостійкість, розрядні напруги, руйнування антикорозійних покриттів.



Підписано до друку 18.04.97р. Замовлення № 228. Тираж 100 прим.
Надруковано на різнографі редакційно-видавничого центру газети "Вісті".
м.Слов'янськ, вул.Жовтневої революції, 37.

438146

AB 37.953

AB 37.953