

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Золотарьов Володимир Володимирович

УДК 620.179.148:621.315.2

**ПРИСТРОЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ І КОНТРОЛЮ
ПАРАМЕТРІВ КАБЕЛІВ І ПРОВОДІВ З ІЗОЛЯЦІЄЮ ІЗ ЗШИТОГО
ПОЛІЕТИЛЕНУ**

Спеціальність 05.11.13 – прилади і методи контролю
та визначення складу речовин

Автореферат
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2011

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі електроізоляційної та кабельної техніки Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, м. Харків

Науковий керівник : кандидат технічних наук, доцент

Науменко Олексій Антонович,

Національний технічний університет

"Харківський політехнічний інститут",

доцент кафедри електроізоляційної та кабельної техніки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Коптиков Віктор Павлович,

Державний Макіївський науково-дослідний інститут

з безпеки робіт у гірничій промисловості,

заступник директора з наукової роботи

доктор технічних наук, професор

Бондаренко Володимир Омелянович,

Національний технічний університет

"Харківський політехнічний інститут",

завідувач кафедри передачі електричної енергії

Захист відбудеться "____" _____ 2011 р. о ____ год. ____ хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.09 в Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий "____" _____ 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

С.М. Глоба

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основним фактором підвищення потужності кабельних ліній (КЛ), яка до останнього часу обмежувалась робочою температурою 70°C паперової імпрегнованої ізоляції, є підвищення напруги та збільшення перерізу жил. Це в свою чергу потребує підвищення робочої напруженості електричного поля в ізоляції і, як наслідок, - підвищення її теплостійкості. Принциповий вихід дає застосування зшитого поліетилену на робочі температури короточасних перевантажень до 130°C , а в режимі КЗ – до 250°C . Однак, така ізоляція, що забезпечила якісний стрибок в технології виготовлення сучасних енергонасичених кабелів і проводів та спорудженні КЛ, має і свої недоліки. Головний з них – виникнення та розвиток тріщин в сильному електричному полі при дії вологи, що призводить до різкого зростання тангенса кута діелектричних втрат та рівня часткових розрядів (ЧР). Згідно чинним міжнародним нормам, вже на стадії випускних виробничих випробувань передбачений початковий контроль якраз цих двох параметрів, які відповідають за ресурс кабелів в умовах прокладання і які необхідно контролювати на напрузі більше 100 кВ. З другого боку тангенс кута діелектричних втрат зшитого поліетилену на порядок нижчий порівняно з традиційною ізоляцією, а допустимий рівень ЧР не повинен перевищувати 10 пКл на будівельних довжинах, що зросли на порядок та потягли за собою відповідне збільшення ємності кабелів. Це призвело до того, що наявні пристрої або не забезпечували можливості контролю, наприклад, такого важливого параметра, як рівень ЧР, або взагалі не дозволяли провести самі випробування через їх надмірну вартість.

Таким чином, актуальним є питання розробки та створення пристроїв електричних випробувань на напрузі до 500 кВ і контролю параметрів кабелів і проводів з зшитою поліетиленовою ізоляцією, що визначило напрямок дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі електроізоляційної та кабельної техніки НТУ "ХПІ" відповідно до госпрозрахункової науково-дослідної роботи «Гармонізація національних стандартів з міжнародними та європейськими стандартами» (ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості», м. Київ), де здобувач виконував роботи на етапі «Вибір розмірів кабелю при проектуванні кабельних ліній».

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка захищених від електромагнітних завад пристроїв електричних випробувань і контролю параметрів кабелів і проводів з ізоляцією із зшитого поліетилену.

Для досягнення мети поставлені наступні завдання.

1. Теоретично визначити діапазон зміни параметра контролю – тангенса кута діелектричних втрат в ізоляції кабелів на основі математичної моделі

розподілу електричного поля промислової частоти у багатошарових ізоляційних конструкціях із зшитого поліетилену.

2. Дослідити залежність контрольованого параметра – тангенса кута діелектричних втрат від електричної провідності напівпровідних екранів двошарових і тришарових зшитих полімерних конструкцій.

3. Провести аналіз і дослідити робочі режими схем випробувань кабелів середньої, високої і надвисокої напруги з ізоляцією із зшитого поліетилену.

4. Розробити захищені від електромагнітних завад пристрої випробувань кабелів із зшитою поліетиленовою ізоляцією на напругу 110 та 220...330 кВ і одночасного контролю на випробувальній напрузі рівня ЧР і тангенса кута діелектричних втрат.

5. Обґрунтувати та розробити пристрій випробувань високою напругою і контролю параметрів зшитої ізоляції самоутримних ізольованих проводів в технологічних лініях на основі математичної моделі електромагнітного процесу, що враховує струм переносу.

6. Дослідити рівень ЧР перспективних вітчизняних конструкцій кабелів з зшитою поліетиленовою ізоляцією.

Об'єкт дослідження - процес взаємодії стаціонарного електричного поля з діелектриком у вигляді зшитого поліетилену, відгук від якого несе інформацію про стан ізоляції кабелів і проводів

Предмет дослідження – пристрої електричних випробувань і контролю параметрів кабелів і проводів з ізоляцією із зшитого поліетилену.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань використано: аналітичні методи математичної фізики – для визначення параметра контролю – тангенса кута діелектричних втрат та макроскопічного розподілу електричного поля в багатошаровому діелектрику; чисельний метод лінійної алгебри (метод кінечних елементів) – для дослідження мікроскопічного розподілу електричного поля з урахуванням включень в зшитому поліетилені; аналітичні методи теорії лінійних електричних кіл – для дослідження електромагнітних процесів резонансних схем на напругу до 500 кВ; для дослідження рівня часткових розрядів і вимірювання тангенса кута діелектричних втрат – експериментальний електричний метод вимірювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше теоретично визначено діапазон зміни контрольованого параметра – тангенса кута діелектричних втрат в багатошаровій зшитій поліетиленовій ізоляції і, зокрема, в найбільш вживаних на практиці двошаровій та трьохшаровій конструкціях із зшитого поліетилену на основі математичної моделі взаємодії стаціонарного електричного поля промислової частоти з неідеальним багатошаровим діелектриком при довільній кількості циліндричних шарів та довільних значеннях їх активних провідностей і діелектричних проникностей.

2. Вперше на основі рішення крайової задачі розподілу комплексної напруженості електричного поля в товщі багатошарового неідеального циліндричного діелектрика встановлено залежність контрольованого параметра

– тангенса кута діелектричних втрат від активної провідності напівпровідних екранів в і доведено зокрема, що для двохшарових та трьохшарових зшитих ізоляційних конструкцій цей параметр має максимальне значення 10^{-1} при провідності екранів $10^{-8}(\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$, що на два порядки перевищує його допустиме значення для кабелів надвисокої напруги.

3. Вперше, на основі проведених досліджень робочих режимів удосконалених схем електричних випробувань напругою до 500 кВ теоретично встановлена залежність нормованої напруги на випробуваних об'єктах від активного опору високовольтних вводів, добротності потужного реактора, тангенса кута діелектричних втрат та ємності кабелів з зшитою поліетиленовою ізоляцією середньої, високої та надвисокої напруги, і побудовані номограми для вибору параметрів заводських випробувальних пристроїв.

4. Вперше для удосконалених і запатентованих вітчизняних зразків кабелів енергетичного призначення з зшитою поліетиленовою ізоляцією з допомогою розроблених пристроїв випробувань і контролю експериментально встановлена у вигляді гістограм закономірність появи часткових розрядів. Доведено зокрема, що часткові розряди з уявним допустимим зарядом (ЧР) не більше 10 пКл з'являються на 1...3% будівельних довжин кабелів на напругу 10 кВ, що являє собою величину браку від загальної кількості випробуваних барабанів.

5. Вперше запропоновано метод безконтактного контролю швидкості нанесення ізоляції різних видів в сучасних екструзійних технологічних лініях на основі встановленої закономірності транспорту електричних зарядів зовнішньою поверхнею рухомого діелектрика. Це дозволило з урахуванням струму переносу розробити пристрій більш точних випробувань електричною напругою з одночасною реєстрацією кількості дефектів та контролем швидкості нанесення зшитої поліетиленової ізоляції на сучасних екструзійних технологічних лініях.

Практичне значення одержаних результатів. Основні наукові результати роботи знайшли своє застосування в розроблених пристроях випробувань і контролю, що дозволило провести випробування нових вітчизняних зразків кабелів і проводів з зшитою поліетиленовою ізоляцією. Запропоновано і запатентовано: пристрій випробувань на прохід і контролю параметрів самоутримних ізольованих проводів (патент №39643); конструкції (патенти №87535, №85912, №85910, №39644, №39645) і матеріали (патенти №83826, №84012) для виготовлення кабелів, що мають підвищену пожежобезпеку; а також зразки струмопровідних жил з коефіцієнтом заповнення металом, що досягає значення 0.96. Такі струмопровідні жили використовуються в кабелях та захищених і самоутримних ізольованих проводах (патент №38514).

Впроваджені у промислове виробництво ПАТ "Завод "Південкабель" нові захищені від завад пристрої випробувань і контролю параметрів кабелів до 110 кВ і до 330 кВ на випробувальній напрузі до 500 кВ, у тому числі контролю їх ізоляції, виміру рівня часткових розрядів і тангенса кута діелектричних втрат.

Результати роботи використовуються у навчальному процесі кафедри «Електроізоляційна та кабельна техніка» НТУ «ХПІ» а також в системі підвищення кваліфікації інженерно-технічних фахівців в області електроенергетики та при спорудженні і експлуатації повітряних ЛЕП на напругу до 1 кВ.

Особистий внесок здобувача. Всі основні наукові положення розроблені здобувачем особисто. Серед них: розробка математичних моделей взаємодії стаціонарного електричного поля з ізоляцією із зшитого поліетилену та вирішення крайових задач, теоретичне визначення параметра контролю – тангенса кута діелектричних втрат в ізоляції, створення і дослідження пристроїв випробувань і контролю параметрів нових кабелів і проводів та експериментальне дослідження рівня ЧР.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові результати дисертаційної роботи доповідались на науково-технічних конференціях: "Фізичні і комп'ютерні технології" (м. Харків, 2006 р. і 2007 р.), "Електромеханіка, електротехнології, електротехнічні матеріали і компоненти", (м. Алушта, 2006 р. і 2008 р.).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено в 29 наукових публікаціях, з них: 2 монографії, 14 статей у наукових фахових виданнях України, 9 патентів України.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, 2 додатків, списку літератури. Загальний обсяг дисертації становить 194 сторінки, з них: 15 рисунків на 15 окремих сторінках; 8 таблиць по тексту; 1 таблиця на одній сторінці; 2 додатків на 17 сторінках; списку використаних літературних джерел з 121 найменування на 14 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета і завдання дослідження, наведені відомості про наукову новизну, практичну цінність одержаних результатів, апробацію і впровадження роботи.

В першому розділі виявлені основні тенденції удосконалення сучасних конструкцій та технологій виготовлення кабелів і проводів енергетичного призначення з використанням перш за все нових електроізоляційних матеріалів з властивостями підвищеної (до 250° С) нагрівостійкості. Проведений аналіз існуючих вимог до неруйнівного поточного контролю високою електричною напругою, а також засобів і методів заводських випробувань і вимірювань часткових розрядів кабелів низької, середньої, високої та надвисокої напруги і тенденції їх розвитку. На основі цього аналізу сформульована наукова задача розробки пристроїв поточних електричних випробувань і контролю параметрів нових конструкцій кабелів і проводів з урахуванням вимог, що витікають з умов роботи такої продукції перш за все в електроенергетичних мережах.

В другому розділі розроблена математична модель електромагнітного процесу, яка враховує струм переносу i_n зовнішнім шаром рухомого діелектрика на провідниковій підкладці, що має місце при випробуваннях високою електричною напругою та поточному електричному контролі цілісності елементів проводів і кабелів зшитою ізоляцією в сучасних екструзійних технологічних лініях. Основна розрахункова залежність має вигляд:

$$i_n(t) = \varepsilon_0 \varepsilon E_g(t) K(\Pi) V(t) \Pi, \quad (1)$$

де ε_0 , ε – абсолютна діелектрична проникність вакууму та відносна проникність діелектрика, відповідно; $E_g(t)$ – нормальна складова напруженості зі сторони діелектрика, $V(t)$ – швидкість руху виробу в технологічній лінії; Π – периметр поперечного перетину виробу; $K(\Pi)$ – безрозмірний коефіцієнт, який залежить від форми та довжини лінії периметру Π і значення напруженості $E_g(t)$ з внутрішньої сторони діелектрика.

Доведено, що в технологічних лініях, де використовуються екструдери середньої продуктивності з діаметром черв'яка в діапазоні 90...125 мм найбільш раціонально використовувати постійну випробувальну напругу, або напругу промислової частоти, а в тихохідних екструзійних технологічних лініях, великої продуктивності з діаметром черв'яка більшим 125 мм, необхідно використовувати імпульсну випробувальну напругу.

Урахування струму переносу $i_n(t)$, пропорційного швидкості руху діелектрика $V(t)$, дозволило створити відповідний пристрій випробувань електричною напругою, визначення кількості дефектів та контролю швидкості нанесення зшитої поліетиленової ізоляції в сучасних швидкісних екструзійних лініях (патент №39643).

В третьому розділі для визначення діапазону можливої зміни основного параметра контролю – тангенса кута діелектричних втрат кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену розроблена математична модель стаціонарного електромагнітного процесу в багат шаровому недосконалому діелектрику у вигляді крайової задачі для рівняння в циліндричних координатах для комплексного потенціалу ϕ

$$\nabla((\gamma + i\omega\varepsilon_0\varepsilon) \cdot \nabla \phi) = \nabla(\dot{Y} \cdot \nabla \phi) = 0, \quad (2)$$

де γ – активна провідність елементу об'єму діелектрика, $\dot{Y} = \gamma + i\omega\varepsilon_0\varepsilon$ – повна комплексна провідність, ∇ – оператор набла, $i = \sqrt{-1}$ – уявна одиниця. Граничні умови витікають з екіпотенціальності провідника жили радіусом r_0 і провідникового екрану радіусом r_n

$$\dot{\phi}(r_n)=0, \quad \phi(r_0)=\dot{U}, \quad (3)$$

де \dot{U} – комплексна електрична напруга між жилою та провідниковим екраном.

Модель (2), (3) дозволила знайти аналітично тангенс кута діелектричних втрат для загального випадку довільної кількості $n=3$ циліндричних шарів недосконалого діелектрика.



Рис. 1. Базова конструкція кабелю з ізоляцією із зшитого поліетилену.

1 – мідна струмопровідна жила; 2 – внутрішній екструдований напівпровідний шар; 3 – екструдована ізоляція із зшитого поліетилену; 4 – зовнішній екструдований напівпровідний шар; 5 – обмотка напівпровідним водонабухаючим полотном; 6 – мідний екран, виконаний у вигляді повиву мідних дротин, скріплених і спірально накладеними двома мідними стрічками; 7 – обмотка водонабухаючим полотном; 8 – алюмополімерна стрічка, накладена поздовжньо і зварена з зовнішньою оболонкою; 9 – екструдована зовнішня оболонка зі зшиті полімерної композиції.

Зокрема для трьохшарових зшитих поліетиленових конструкцій (рис.1), які при $n=3$ складаються з напівпровідного пластмасового екрану 2 по струмопровідній жилі 1, шару високоякісного зшитого поліетилену 3 (власне ізоляція) та напівпровідного пластмасового екрану 4 поверх ізоляції 3 і є базовими для кабелів низької, середньої високої та надвисокої напруги вираз теоретичного значення повного кута діелектричних втрат має вигляд

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \delta = & \frac{[(\gamma_1 \gamma_2 - \omega \varepsilon_1 \varepsilon_2) - \omega^2 (\varepsilon_2 \gamma_3 + \varepsilon_1 \gamma_2) \varepsilon_3][(\gamma_2 \gamma_3 + \omega^2 \varepsilon_2 \varepsilon_3) \alpha_1 + (\gamma_1 \gamma_3 - \omega^2 \varepsilon_1 \varepsilon_3) \alpha_2 + (\gamma_1 \gamma_2 - \omega^2 \varepsilon_1 \varepsilon_2) \alpha_3] +}{[(\gamma_1 \gamma_2 - \omega^2 \varepsilon_1 \varepsilon_2) - \omega^2 (\varepsilon_2 \gamma_3 + \varepsilon_1 \gamma_2) \varepsilon_3](-\omega)[(\varepsilon_3 \gamma_2 + \varepsilon_2 \gamma_3) \alpha_1 + (\varepsilon_3 \gamma_1 + \varepsilon_1 \gamma_3) \alpha_2 + (\varepsilon_2 \gamma_1 + \varepsilon_1 \gamma_2) \alpha_3] + \dots} \cdot (4) \\ & \times \frac{+ \omega^2 [\gamma_3 (\varepsilon_2 \gamma_1 + \varepsilon_1 \gamma_2) + \varepsilon_3 (\gamma_1 \gamma_2 - \omega^2 \varepsilon_1 \varepsilon_2)][(\varepsilon_3 \gamma_2 + \varepsilon_2 \gamma_3) \alpha_1 + (\varepsilon_3 \gamma_1 + \varepsilon_1 \gamma_3) \alpha_2 + (\varepsilon_2 \gamma_1 + \varepsilon_1 \gamma_2) \alpha_3]}{+ \omega [\gamma_3 (\varepsilon_2 \gamma_1 + \varepsilon_1 \gamma_2) + \varepsilon_3 (\gamma_1 \gamma_2 - \omega^2 \varepsilon_1 \varepsilon_2)][(\gamma_2 \gamma_1 - \omega^2 \varepsilon_2 \varepsilon_3) \alpha_1 + (\gamma_1 \gamma_3 - \omega^2 \varepsilon_1 \varepsilon_3) \alpha_2 + (\gamma_1 \gamma_2 - \omega^2 \varepsilon_1 \varepsilon_2) \alpha_3]} \end{aligned}$$

$\gamma, (\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$

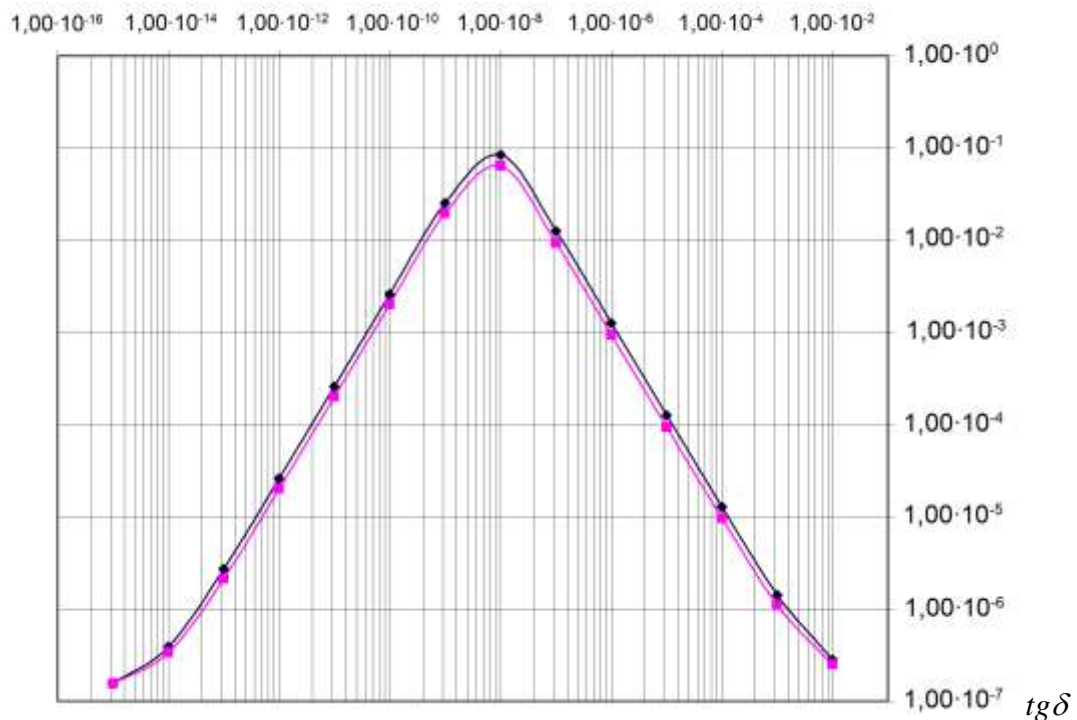


Рис.2. Залежність тангенса кута діелектричних втрат від активної провідності екранів по жилі γ_1 , та по ізоляції γ_3 в трьохшаровій (— \diamond —) зшитій конструкції, а також від активної провідності екрану по жилі в двошаровій (— \blacksquare —) зшитій конструкції осердя кабелю (радіус жили $r_0=13$ мм, товщина екрану по жилі та ізоляції 2 мм, радіус ізоляції 39,5 мм, $\gamma_1=\gamma_3$, $\gamma_2=10^{-5} (\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$, $\varepsilon_1=\varepsilon_2=\varepsilon_3=2,3$).

Проведений аналіз (4) для практичної кількості шарів від одного до чотирьох показав, що тангенс кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta(\gamma, \varepsilon)$ для трьох- та двошарової конструкції має екстремум (рис.2). Таким чином, якщо γ_1 і γ_3 необмежено зменшувати, то електричні властивості напівпровідних екранів будуть все більш схожими з властивостями високоякісного поліетилену з низьким $\text{tg}\delta$, а отже $\text{tg}\delta$ всієї трьохшарової конструкції теж буде знижуватись (ліва від максимуму частина кривої). При необмеженому збільшенні γ_1 і γ_3 властивості напівпровідних екранів навпаки будуть все більш схожими з властивостями хорошого провідника тобто мідного екрану, між яким знову таки знаходиться шар високоякісного поліетилену і $\text{tg}\delta$ буде зменшуватись (права від максимуму частина кривої). Оскільки значення $\text{tg}\delta$ не залежить від об'єму діелектрика, то при середніх значеннях γ_1 і γ_3 буде мати місце максимум значення $\text{tg}\delta$ для трьохшарової конструкції. Те ж саме має місце і для двошарової зшитої конструкції з напівпровідниковим екраном по жилі.

В четвертому розділі проведені дослідження режимів роботи пристроїв для випробувань електричною напругою кабелів з ізоляцією з зшитого поліетилену на основі енергоощадної резонансної схеми з регульованою

індуктивністю у вигляді потужного лінійного реактора та ємністю випробуваного кабелю на барабані з можливістю одночасного контролю тангенса кута діелектричних втрат та рівня ЧР в ізоляції (рис.3). Встановлено, що зведена напруга $U_{сн}^* = U_{сн} / U_2$ випробуваного кабелю на барабані є функцією його ємності C_n , опору високовольтних введів $R_{\text{вв}}$, тангенса кута діелектричних витрат кабелю $\text{tg} \delta$ та добротності реактора Q_L .

$$U^* = \left[\left(1/R_{\text{вв}} + \omega C_n^2 \text{tg} \delta \right)^2 + (\omega C_n)^2 \right]^{1/2} / \left(R_{\text{вв}}^{-1} + \omega C_n \text{tg} \delta + \omega C_n / Q_L \right), \quad (5)$$

де ω – циклічна частота випробувальної напруги.

Тут зведена напруга $U_{сн}^*$ чисельно дорівнює загальній добротності контуру Q_{Σ} .

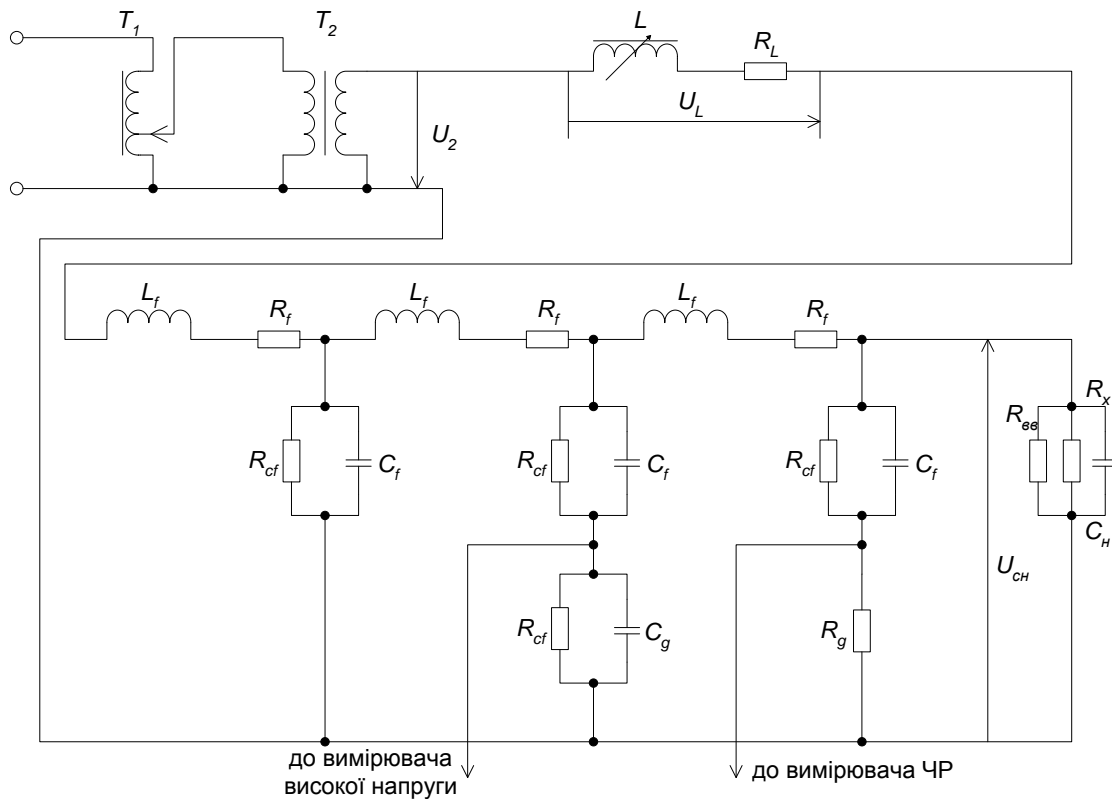


Рис.3. Принципова схема пристрою для випробування і контролю параметрів кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену.

T_1, T_2 – трансформатори регулювання і збудження; L, R_L – індуктивність та опір реактора; C_f, R_{cf} – ємність і опір конденсаторів високовольтного фільтра низьких частот; C_n, R_x – ємність і опір випробуваного кабелю; C_g, R_g – ємність і опір низьковольтних плеч дільників напруги.

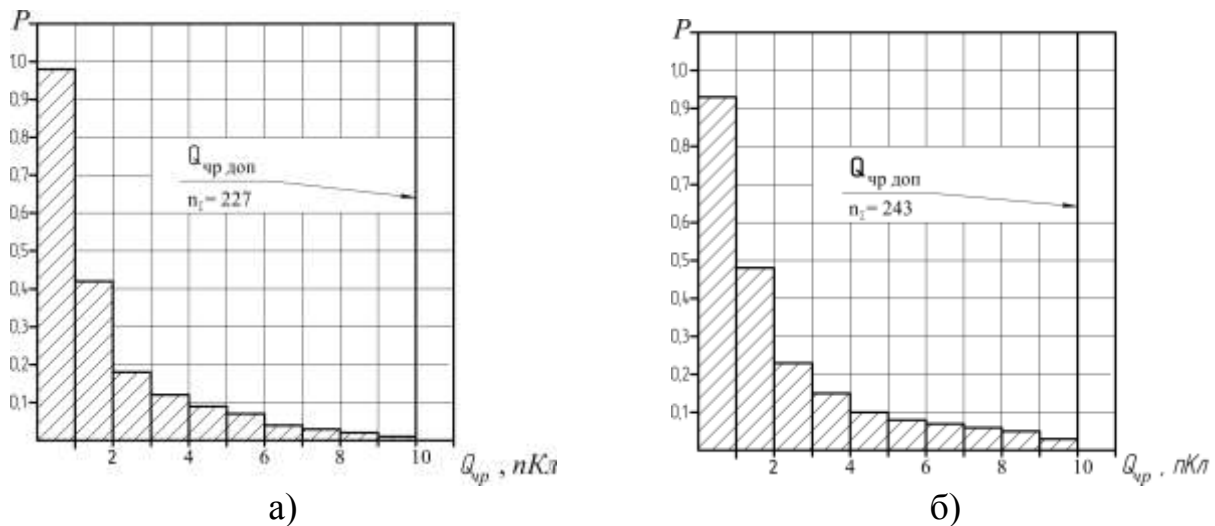


Рис.4. Гістограми частоти появи P часткових розрядів з рівнем $Q_{чр}$ на барабанах випробуваного кабеля.

$Q_{чр доп}$ – допустимий рівень часткових розрядів за МЕК; n_1 , n_2 – кількість випробуваних барабанів.

Аналіз співвідношення (5) показує, що при допустимому значенні $\tan \delta$ для ізоляції із зшитого поліетилену не більше 0,001 та найменшому опорі високовольтних введів 5,39 МОм, на нижньому значенні зазору осердя реактора можна випробовувати мінімальні довжини кабелів ємністю від $0,077 \cdot 10^{-6}$ Ф при загальній добротності контуру Q_{Σ} не гіршій 30. При цьому добротність реактора не повинна опускатись нижче 40 одиниць. На верхньому значенні зазору осереддя реактора можна випробовувати максимальні довжини кабелів ємністю до $0,4 \cdot 10^{-6}$ Ф при загальній добротності контуру не гірше 60, якщо добротність реактора не опускається нижче 70 одиниць. Виконання цих умов дозволяє проводити випробування всіх будівельних довжин (приблизно від 80 до 1000 м і більше) кабелів 6...330 кВ на встановлених МЕК випробувальних напругах до 500 кВ при значенні напруги збудження лише від 8,3 до 16,7 кВ. При цьому індуктивність реактора лежить в межах 70... 2000Г. Побудовані номограми на основі залежності (5) дозволяють вибирати основні параметри силової частини розроблених пристроїв (рис. 3) для заводських випробувань електричною напругою до 500 кВ кабелів з ізоляцією з зшитого поліетилену з можливістю одночасного вимірювання $\tan \delta$ та рівня ЧР в усьому діапазоні напруг. Загалом за результатами проведених досліджень було споруджено два пристрої, один – для випробувань кабелів до 110 кВ з одним реактором на напругу до 200 кВ, другий – для випробувань кабелів 220... 330 кВ з двома реакторами на загальну напругу до 500 кВ при їх послідовному сполученні.

За результатами розрахунків розроблена і впроваджена випробувальна схема на напругу до 500 кВ, на якій випробувались розроблені вперше в Україні та СНД зразки кабелів зі зшитою поліетиленовою ізоляцією напругою

до 330 кВ включно (Патенти України №83912, №38514, №39644) і вибрані необхідні її режими для вимірювання рівня ЧР на високій (випробувальній) напрузі. Результатами вимірювань встановлено, що значення $tg\delta$ кабелів не перевищує допустимого значення $0.3 \cdot 10^{-3}$, що загалом підтверджує правильність його теоретичного визначення, проведеного в 3-му розділі.

Проведені експериментальні вимірювання рівня ЧР (рис. 4), який не піддається теоретичному визначенню, встановили, що він перевищує допустиме значення за МЕК 10 пКл приблизно на 1...3% від загальної кількості барабанів з випробуванням кабелем. Це визначає імовірність появи браку барабанів випробуваного кабеля з зшитої поліетиленової ізоляції.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішене науково-практичне завдання розробки пристрою електричних випробувань і контролю параметрів новітніх вітчизняних зразків кабелів і проводів електроенергетичного призначення з ізоляцією із зшитого поліетилену.

1. Теоретично визначено діапазон зміни кута діелектричних втрат багат шарових ізоляційних конструкцій із зшитого поліетилену на основі розробленої математичної моделі взаємодії електричного поля з недосконалим багат шаровим діелектриком. Показано, що при зміні провідності матеріалу екранів на основі поліетилену (з додаванням вуглецю) у широкому діапазоні від $10^{-15} \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$ до $10^{-2} \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$ значення тангенса кута діелектричних втрат кабелю з двошаровою або тришаровою ізоляційною конструкцією змінюється в широких межах $10^{-7} \dots 10^{-1}$, при допустимому значенні $1 \cdot 10^{-3}$ (при $T=90^\circ \text{ C}$).

2. Залежність тангенса кута діелектричних втрат ($tg\delta$) від провідності екранів має екстремум при провідності напівпровідникових екранів $10^{-8} \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$. Зі збільшенням температури при тривалих припустимих перевантаженнях до 130° C , провідність екранів зменшується, у порівнянні з нормальними умовами, на три порядки до величини $10^{-6} \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$, а значення тангенса кута діелектричних втрат зростає до величини 10^{-3} , що допустимо згідно НТД. Таким чином, встановлена залежність тангенса кута діелектричних втрат у кабелі дозволяє зробити висновок, що для забезпечення нормальної роботи кабелів зі зшитою поліетиленовою ізоляцією в режимі тривалого перевантаження при температурі до 130° C початкова провідність провідних пластмасових екранів (при температурі 20° C) повинна бути не менш $10^{-3} \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$.

3. Проведені дослідження робочих режимів пристроїв випробувань і контролю параметрів кабелів середньої, високої та надвисокої напруги показали, що зведена напруга на випробувальному об'єкті залежить головним чином від ємності кабеля, тангенса кута його діелектричних втрат, активного опору водяних ввідів та добротності реактора. На цій основі розроблено метод

вибору параметрів основних вузлів тестової схеми для випробувань кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену в режимі резонансу напруг.

4. Запропоновані захищені від електромагнітних завад пристрої випробувань і метод вибору їх параметрів для випробувань кабелів з зшитою поліетиленовою ізоляцією на випробувальній напрузі до 500 кВ включно. Експериментально встановлено, що для кабелів надвисокої напруги (до 330 кВ) з тришаровою зшитою в середовищі стислого сухого азоту ізоляційною конструкцією (провідний екран по жилі – ізоляція з високоякісного поліетилену – провідний екран по ізоляції), визначені експериментально значення тангенса кута діелектричних втрат не перевершують значення $0.3 \cdot 10^{-3}$ при температурі 20° С.

5. Проведені дослідження електрофізичних процесів транспорту електричних зарядів рухомим шаром діелектрика на провідниковій підкладці, що має місце при випробуванні електричною напругою цілісності ізоляційних елементів кабелів і самоутримних проводів в сучасних технологічних лініях. Доведено, що в швидкісних екструзійних лініях з діаметром черв'яка до 90 мм у випробувальних схемах слід використовувати змінну напругу довільної частоти, при діаметрах черв'яка 90...125 мм – постійну напругу, а при діаметрах більших 125 мм слід використовувати імпульсну випробувальну напругу. Явище переносу зарядів використано для створення безконтактного пристрою контролю швидкості нанесення ізоляції рухомих кабельних виробів (Патент України №39643).

6. З допомогою розроблених пристроїв експериментально досліджено рівень часткових розрядів в створених вперше в СНД вітчизняних промислових зразках пожежобезпечних кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену. Встановлені закономірності доводять, що часткові розряди з рівнем, що перевищує допустимий рівень 10 пКл з'являються на 1...3% барабанів з випробуванням кабелем. Це визначає ймовірність появи браку виготовлених кабелів на будівельних довжинах.

7. Результати роботи впроваджені в промислове виробництво кабелів з зшитою поліетиленовою ізоляцією ПАТ «Завод «Південкабель» та у навчальний процес кафедри електроізоляційної і кабельної техніки НТУ «ХП».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Золотарев В.В. Самонесущие изолированные и высоковольтные защищенные провода / Щерба А.А., Перетятко Ю.В., Золотарев В.В. Київ: «Сучасність», 2008. — 292 с. *Здобувачем проведений аналіз електрофізичних процесів переносу зарядів шаром полімерної ізоляції різноманітних кабельно-провідникових виробів та розподілу поля в товщі ізоляції і виведені на цій основі нові співвідношення для визначення струму переносу.*

2. Золотарьов В.В. Рекомендації щодо вибору характеристик, конструкції і застосування самоутримних ізольованих проводів виробництва

ЗАТ завод "Південкабель" на повітряних лініях електропередачі підвищеної надійності та безпеки / Золотарьов В.М., Щерба А.А., Карпушенко В.П., Перетятко Ю.В., Золотарьов В.В., Обозний А.Л. – Харків: Майдан, 2008. – 62 с. *Здобувачем запропонована методика оцінки розподілу електричного поля у повітряному просторі навколо системи ізолюваних проводів та в об'ємі їх полімерної ізоляції.*

3. Золотарев В.В. Физические процессы, приводящие к транспорту электрических зарядов слоем диэлектрика на проводящей подложке / А.А.Науменко, В.М.Золотарев, В.П.Карпушенко, В.В.Золотарев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ "ХПІ". - 2005. - № 42. - С. 3-15. *Здобувачем запропоновані співвідношення для визначення струму переносу в загальному випадку руху діелектрика на провідниковій підкладці.*

4. Золотарев В.В. Критерии применения устройств поточного электрического контроля изоляционных элементов кабельных изделий на современных автоматизированных экструзионных линиях / В.М.Золотарев, В.П.Карпушенко, А.А.Науменко, С.В.Бузько, В.В.Золотарев // Вісник Національного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХНТУСГ. – 2005. – вип. 33. – С.153-156. *Здобувачем запропоновано метод вибору засобів поточного електричного контролю ізоляційних елементів в екструзійних лініях з урахуванням струму переносу.*

5. Золотарев В.В. Определение силовых параметров при волочении фасонных токопроводящих жил силовых кабелей / В.М.Золотарев, В.П.Карпушенко, С.В.Бузько, В.В.Золотарев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». — 2006. - № 28. — С. 67 — 71. *Здобувачем запропоновано визначення силових параметрів при виготовленні струмопровідних жил як функцію межі міцності струмопровідного матеріалу.*

6. Золотарев В.В., Самонесущие изолированные провода: особенности конструкции и перспектива развития производства в Украине / В.М.Золотарев, Ю.А.Антонец, В.В.Золотарев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». - 2006. - № 34. - С. 12 - 17. *Здобувачем запропоновані конструкції жил самоутримних ізолюваних проводів, що виготовляються з обтисненням в алмазних волоках.*

7. Золотарев В.В. Ток переноса, возникающий при испытании электрическим напряжением изолированной ТПЖ произвольного поперечного сечения // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ "ХПІ". – 2006. - № 7. -С. 3-6. *Здобувачем запропоновані співвідношення для визначення струму переносу при випробуванні електричною напругою рухомої ізолюваної струмопровідної жили довільного перерізу.*

8. Золотарев В.В. Связь коэффициента пропорциональности между скоростью и током переноса движущейся изолированной секторной

жили и ее технологическими параметрами / С.В.Бузько, В.В.Золотарев, В.П.Карпушенко, А.А.Науменко // Вісник Національного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХНТУСГ. – 2006. – вип. 42. — С. 164-166. *Здобувачем встановлені співвідношення між швидкістю руху та струмом переносу в залежності від технологічних параметрів рухомої ізольованої секторної жили.*

9. Золотарев В.В. Отечественные разработки кабелей среднего, высокого и сверхвысокого напряжений / В.П.Карпушенко, В.М.Золотарев, А.А.Науменко, В.В.Золотарев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ "ХПІ". - 2007. - № 20. -С. 87-95. *Здобувачем встановлені співвідношення для основних робочих параметрів кабелів середньої, високої та надвисокої напруги, що обумовлюють допустимий режим їх випробувань електричною напругою.*

10. Золотарев В.В. Испытание изоляционных элементов кабелей и проводов электрическим напряжением на проход / В.М.Золотарев, В.П.Карпушенко, В.В.Золотарев, А.А.Науменко // Вісник Національного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХНТУСГ. - 2007. - № 61. - С. 193-196. *Здобувачем встановлені основні співвідношення, що обумовлюють випробування ізоляційних елементів кабелів і проводів електричною напругою на прохід.*

11. Золотарев В.В. Распределение стационарного электрического поля в цилиндрическом неидеальном диэлектрике / В.В.Золотарев, В.П.Карпушенко, В.М.Золотарев, А.А.Науменко // Электротехника и электромеханика. - 2008. - С. 65-69. *Здобувачем вирішена крайова задача, розроблена математична модель та встановлені закономірності розподілу стаціонарного електричного поля в неідеальному циліндричному діелектрику.*

12. Золотарев В.В. Энергосберегающие схемы испытаний кабелей с полиэтиленовой изоляцией / В.М.Золотарев, В.П.Карпушенко, В.В.Золотарев, А.А.Науменко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ "ХПІ". – № 20. – 2008. - С. 55-66. *Здобувачем запропоновані енергозберігаючі схеми випробувань кабелів з поліетиленовою ізоляцією з використанням резонансу напруг.*

13. Золотарьов В.В. Основні закономірності роботи похилої екструзійної лінії для виготовлення силових кабелів на напругу до 330 кВ та їх заводських випробувань / В.В.Золотарьов, В.П.Карпушенко, О.А.Науменко, В.М.Золотарьов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ "ХПІ". - 2008. - № 44. -С. 44-52. *Здобувачем встановлені основні закономірності, котрі проявляються при випробуванні ізоляції силових кабелів на напругу до 330 кВ в заводських умовах при застосуванні випробувальних схем з резонансом напруг.*

14. Золотарев В.В. Тенденции построения современных испытательных комплексов для испытания кабелей с пластмассовой изоляцией / В.М.Золотарёв, В.П.Карпушенко, Ю.А.Антонец, В.В.Золотарёв, А.А.Науменко // Вісник інженерної академії України . - 2008. - № 1. - С. 70 -

73. *Здобувачем запропоновані основні співвідношення для побудови випробувальних комплексів при випробуванні електричною напругою з одночасною реєстрацією часткових розрядів в кабелях з пластмасовою ізоляцією.*

15. Золотарев В.В. Моделирование и расчет электрического поля в полимерной изоляции самонесущих проводов и высоковольтных кабелей с учетом гетерогенных микродефектов. / А.А.Щерба, Ю.В.Перетятко, В.В.Золотарев, В.Н.Чибелис, А.И.Курило, Л.Ю.Спикул // Технічна електродинаміка. – 2008. – Ч. 3 – С. 115-118. *Здобувачем запропонований метод числового розрахунку електричного поля ізоляції високовольтних кабелів, яка містить мікрровключення.*

16. Золотарев В.В. Расчет электрического сопротивления изолированных и защищенных проводов с несущей стальной жилой в линиях электропередачи среднего напряжения. / А.К.Шидловский, А.А.Щерба, А.Д.Подольцев, И.Н.Кучерявая, В.В.Золотарев // Технічна електродинаміка. - 2008. - Ч. 4 - С. 43-46. *Здобувачем запропонована методика визначення електричного опору струмопровідної жили з алюмінію і сталі шляхом вирішення рівняння в часткових похідних для векторного електричного потенціалу.*

17. Пат. на винахід 83826 (Україна), МПК C08L 83/04. Здатна до зшивання композиція / Василець Л.Г., Золотарьов В.М., Карпушенко В.П., Ганьшина Л.В., Антоненко Ю.П., Золотарьов В.В.; заявник та патентовласник ЗАТ «Завод Південкабель». – № а200510309; заявл. 01.11.2005; опубл. 26.08.2008, Бюл. № 16. *Здобувачем запропонована ізоляція кабелів на основі здатної до зшивання полімерної композиції з поліолефіну та органосилану.*

18. Пат. на винахід № 84012 (Україна), МПК C08L 23/00. Здатна до зшивання композиція / Василець Л.Г., Золотарьов В.М., Карпушенко В.П., Ганьшина Л.В., Антоненко Ю.П., Золотарьов В.В.; заявник та патентовласник ЗАТ «Завод Південкабель». – №а200510311; заявл. 01.11.2005; опубл. 10.09.2008, Бюл. № 17. *Здобувачем запропонована ізоляція кабелів на основі полімерної композиції з додаванням нових компонентів, що стабілізують процес зшивки.*

19. Пат. на винахід 87535 (Україна), МПК H01 B 7/00. Електричний кабель / Золотарьов В.М., Карпушенко В.П., Антоненко Ю.П., Василець Л.Г., Золотарьов В.В. ; заявник та патентовласник ЗАТ «Завод Південкабель». – № а200705764; заявл. 23.05.2007; опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22. *Здобувачем запропонована конструкція електричного кабелю з ізоляцією із зшитого поліетилену.*

20. Пат. на винахід 85912 (Україна), МПК H01 B 9/00. Кабель силовий вогнестійкий / Золотарьов В.М., Карпушенко В.П., Антоненко Ю.П., Василець Л.Г., Золотарьов В.В.; заявник та патентовласник ЗАТ «Завод Південкабель». – № а200705762; заявл. 23.05.2007; опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22. *Здобувачем запропонована конструкція силового вогнестійкого кабелю з нагрівостійкою ізоляцією та оболонкою, що не поширює горіння.*

21. Пат. на корисну модель 38514 (Україна), МПК H02 Н 7/04. Струмopрoвіднa жилa / Зoлoтapьoв В.М., Кaрпyшeнкo В.П., Aнтoнeць Ю.П., Зoлoтapьoв В.В., Чoпoв Є.Ю., Oбoзний A.Л., Нaмeнкo O.A., Чaйкa В.Д.; зaявник тa пaтeнтoвлacник ЗAT «Зaвoд Півдeнкaбeль». – № u200810021; зaявл. 01.08.2008; oпyбл. 12.01.2009, Бюл. № 1. *Здoбyвaчeм зaпpoпoнoвaнa cтpумoпpoвіднa жилa кaбeлів висoкoї тa нaдвисoкoї нaпpуги з кoєфіцієнтoм зaпoвнeння пoпepeчнoгo пepepізу мeтaлoм дo 0.96, щo знижyє вapтiсть iзoляції нa 25..30 відcoтків.*

22. Пат. на винахід 85910 (Україна), МПК H01 В 7/00. Кaбeль кoнтpольний / Зoлoтapьoв В.М., Кaрпyшeнкo В.П., Aнтoнeць Ю.П., Bacилeць Л.Г., Зoлoтapьoв В.В.; зaявник тa пaтeнтoвлacник ЗAT «Зaвoд Півдeнкaбeль». – № a200705757; зaявл. 23.05.2007; oпyбл. 25.11.08. Бюл. № 22. *Здoбyвaчeм зaпpoпoнoвaнa кoнcтpукція кoнтpольнoгo кaбeлю з пiдвищeнoю пoжeжнoю бeзпeкoю зa рaхyнoк пoвздoвжньoгo нeпoшиpeння гopіння.*

23. Пат. на корисну модель 39644 (Україна), МПК H01 В 7/02. Пoтyжний висoкoвoльтний кaбeль / Зoлoтapьoв В.М., Кaрпyшeнкo В.П., Aнтoнeць Ю.П., Зoлoтapьoв В.В., Чoпoв Є.Ю., Oбoзний A.Л., Нaмeнкo O.A., Чaйкa В.Д.; зaявник тa пaтeнтoвлacник ЗAT «Зaвoд Півдeнкaбeль». – № u200809996; зaявл. 01.08.2008; oпyбл. 10.03.2009, бюл. № 5. *Здoбyвaчeм зaпpoпoнoвaнa кoнcтpукція пoтyжнoгo висoкoвoльтнoгo кaбeля нaпpугoю дo 330 кВ зi cкpyчeнoю cекційoвaнoю cтpумoпpoвіднoю жилoю тa тeплocтійкoю iзoляцією iз зиштoгo пoліeтилeнy.*

24. Пат. на корисну модель 39645 (Україна), МПК H01 В 7/02. Висoкoвoльтний кaбeль з вoлoкoннo-oптичним тepмoдaтчикoм / Зoлoтapьoв В.М., Кaрпyшeнкo В.П., Aнтoнeць Ю.П., Зoлoтapьoв В.В., Чoпoв Є.Ю., Oбoзний A.Л., Нaмeнкo O.A., Чaйкa В.Д.; зaявник тa пaтeнтoвлacник ЗAT «Зaвoд Півдeнкaбeль». – № u200809997; зaявл. 01.08.2008; oпyбл. 10.03.2009. Бюл. № 5. *Здoбyвaчeм зaпpoпoнoвaнa кoнcтpукція висoкoвoльтнoгo cилoвoгo кaбeлю з вмoнтoвaним в eкpaн вoлoкoннo-oптичним тepмoдaвaчeм y вигляді cтaльнoї тpyбки тa двoх oптичних вoлoкoн, щo дoзвoляє кoнтpoлювaти тeмпepaтyрy пo всій дoвжині кaбeля oднoчacнo.*

25. Пат. на корисну модель 39643 (Україна), МПК O01В 7/00. Пpистpій для бeзкoнтaктнoгo вимірювaння швидкocтi тa дoвжини pуxoмих кaбeльних вирoбів / Зoлoтapьoв В.В., Нaмeнкo O.A.; зaявник тa пaтeнтoвлacник ЗAT «Зaвoд Півдeнкaбeль». – № u200809995; зaявл. 01.08.2008; oпyбл. 10.03.2009, Бюл. № 5. *Здoбyвaчeм зaпpoпoнoвaнo пpистpій для бeзкoнтaктнoгo вимірювaння швидкocтi тa дoвжини pуxoмих кaбeльних вирoбів нa oснoві peєcтpaції cтpумy пepeнocy.*

26. Зoлoтapєв В.В. Мaтeмaтичecкaя мoдeль eлeктpичecкoй нaпpяжeннocти iзoлиpoвaннoх жил cилoвoх кaбeлeй / С.В.Бузькo, В.В.Зoлoтapєв, В.П.Кaрпyшeнкo, A.A.Нaмeнкo // Физичecкиe и кoмпьютepнe тeхнoлoгии: XII мeждyнaр. нaуч.-тeхн. кoнф., 7-8 иyня 2006 г: тpyды. – Хapькoв: ХНПК «ФЭД», 2006. - С. 239-241. *Здoбyвaчeм зaпpoпoнoвaні cпiввiднoшeння для визнaчeння eлeктpичнoї нaпpужeнocтi в*

ізоляції зі зшитого поліетилену для секторних струмопроеідних жил.

27. Золотарев В.В. Диэлектрические потери в движущейся кабельной изоляции / В.М.Золотарев, В.П.Карпушенко, В.В.Золотарев, А.А.Науменко // Электромеханика, электротехнологии, электрические материалы и компоненты: XI междунар. конф., 18-23 сентября 2006 г: труды. – М.: Технический университет «МЭИ», 2006. – С. 54-55. *Здобувачем запропонований спосіб врахування діелектричних втрат що обумовлені струмом переносу в ізоляції силових кабелів.*

28. Золотарев В.В. Транспорт электрических зарядов коаксиальным слоем диэлектрика, движущегося через область ионизированного газа / В.М.Золотарев, В.П.Карпушенко, В.В.Золотарев, А.А.Науменко // Физические и компьютерные технологии: XIII междунар. науч.- техн. конф., 19-20 апреля 2007 г.: труды. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2007. – С. 300-303. *Здобувачем запропоновано пояснення механізму транспорту електричних зарядів, що має місце в разі руху діелектрика через область іонізованого газу.*

29. Золотарев В.В. Высоковольтный испытательный комплекс / В.М.Золотарёв, В.П.Карпушенко, В.В.Золотарёв, А.А.Науменко // Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты: XII междунар. конф., 29 сентября – 4 октября 2008 г.: труды. – М.: Технический университет «МЭИ», 2008. - С. 25 - 26. *Здобувачем запропоновані основні принципи побудови високовольтних випробувальних комплексів для кабелів із зшитою ізоляцією на напругу до 330 кВ.*

АНОТАЦІЇ

Золотарьов В.В. Пристрої електричних випробувань і контролю параметрів кабелів і проводів з ізоляцією із зшитого поліетилену - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків 2011.

Дисертація присвячена розробці пристрою випробувань електричною напругою і контролю параметрів створених вперше в Україні та СНД новітніх зразків кабелів і проводів з ізоляцією із зшитого поліетилену підвищеної нагрівостійкості (до 250° С в режимі КЗ), з властивостями непоширення горіння і низького газодимовиділення на напругу до 330 кВ включно.

В роботі наведений теоретичний аналіз електромагнітних процесів переносу зарядів шаром діелектрика на провідниковій підкладці. На цій основі розроблений і запатентований пристрій випробування і контролю параметрів ізоляції кабелів і проводів в сучасних екструзійних технологічних лініях. Теоретично визначено діапазон зміни контрольованого параметра – тангенса кута діелектричних втрат на основі розробленої математичної моделі дії стаціонарного електричного поля на багатошаровий недосконалий

циліндричний діелектрик, що має місце в зшитих полімерних конструкціях «напівпровідний екран – ізоляція – напівпровідний екран» в силових кабелях 6...500 кВ. Доведено наявність максимуму на кривій $tg\delta(\gamma, \varepsilon)$ при провідності екранів $\gamma = 10^{-8} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$. Це дозволило зробити висновок, що для забезпечення довгочасно допустимої температури в режимі перевантаження до, 135°C , провідність напівпровідних екранів не повинна бути меншою $10^{-3} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$.

Досліджені резонансні режими роботи випробувальних схем, розроблені високовольтні пристрої випробувань і контролю рівня часткових розрядів і тангенса кута діелектричних втрат в кабелях з зшитою поліетиленовою ізоляцією. Встановлено, що імовірність появи барабанів з бракованим кабелем не перевищує 1...3% від загальної кількості.

Ключові слова: технічні засоби контролю, неруйнівний контроль виробів, силові кабелі, випробування електричною напругою, тангенс кута діелектричних втрат, вимірювання часткових розрядів.

Золотарёв В.В. Устройства электрических испытаний и контроля параметров кабелей и проводов с изоляцией из сшитого полиэтилена - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков 2011.

Диссертация посвящена разработке устройств испытаний электрическим напряжением и контроля параметров созданных впервые в Украине и СНГ новейших образцов кабелей и проводов с изоляцией из сшитого полиэтилена повышенной нагревостойкости (до 250°C в режиме КЗ), со свойствами нераспространения горения и низкого газодымовыделения на напряжение до 330 кВ включительно.

В работе приведён теоретический анализ электромагнитных процессов переноса зарядов слоем диэлектрика на проводящей подложке и разработано устройство испытаний напряжением и контроля скорости наложения сшитой изоляции в современных экструзионных технологических линиях с учётом тока переноса.

Разработана математическая модель воздействия стационарного электрического поля на многослойный неидеальный цилиндрический диелектрик, что имеет место в зшитых полимерных конструкциях «полупроводящий экран – изоляция – полупроводящий экран» в силовых кабелях 6...300 кВ. Доказано наличие максимуму на кривой $tg\delta(\gamma, \varepsilon)$ при провідності екранів $\gamma = 10^{-8} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$. Это позволило сделать вывод о том, что для обеспечения долговременной допустимой температуры в режиме перегрузки до 135°C , провідність полупроводящих экранов не должна быть меньше $10^{-3} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$.

Исследованы резонансные режимы работы высоковольтных испытательных схем, разработаны устройства испытаний электрическим напряжением, контроля уровня частичных разрядов и величины тангенса угла диэлектрических потерь в сшитой полиэтиленовой изоляции. Установлено, что приведенное напряжение на испытуемом объекте, численно равное общей добротности испытательного контура, главным образом зависит от ёмкости кабеля на барабане, тангенса угла его диэлектрических потерь, сопротивления высоковольтных вводов и добротности мощного линейного реактора с регулируемым зазором сердечника. С учётом этой зависимости предложен метод выбора параметров устройств испытания электрическим напряжением до 500 кВ, контроля уровня ЧР и тангенса угла диэлектрических потерь кабелей со сшитой полиэтиленовой изоляцией сечением жил до 2000 кв. мм. С их помощью проведены измерения и установлено, что частичные разряды с уровнем выше допустимого 10 пКл появляются на 1...3% испытуемых барабанов с кабелем. Это определяет вероятность появления бракованных барабанов с изготовленными кабелями.

Ключевые слова: технические средства контроля, неразрушающий контроль изделий, силовые кабели, испытания электрическим напряжением, тангенс угла диэлектрических потерь, измерения частичных разрядов.

Zolotaryov V.V. The devices for electrical testing and parameter monitoring of cables and wires with insulation of cross-linked polyethylene - Manuscript.

Thesis for a Ph. D. degree in technical sciences in specialty 05.11.13 – devices and methods of checkup and determination of substances' makeup. – National technical university “Kharkov Politechnical Institute”, Kharkov 2011.

The thesis is dedicated to development of device for voltage test and parameters' monitoring for novel samples of cables and wires, developed for the first time in Ukraine, with insulation of cross-linked polyethylene (XLPE) which have increased thermal resistance (up to 250° C at short-circuit conditions), and feature non-sustaining of combustion, low gas release and low smoke emission, with operating voltage up to 330 KV inclusive.

The theoretical analysis of electromagnetic processes of charge transport by layer of dielectric on conducting substrate is given. The device for testing and monitoring of cables' and wires' parameters in state-of-art extrusion technological lines has been developed and patented on this basis. The size of changing for monitored parameter – tangent of dielectric loss angle – has been theoretically determined on this basis of developed mathematical model of influence of stationary electric field upon the multilayered imperfect cylindrical non-conductor, which takes place in cross-linked polymer structures “semiconducting screen – insulation – semiconducting screen” in power cables with operating voltage 6...500 KV. The presence of maximum on the graphic chart $tg\delta(\gamma, \varepsilon)$ at screen conductivity $\gamma = 10^{-8} (Ом \cdot м)^{-1}$ is proven, which allowed to conclude that conductivity of

semiconducting screens must not be lower than $10^{-3} \text{ (Ohm}\cdot\text{m)}^{-1}$ in order to provide long-term operation in overload condition at temperature 135 °C.

The resonant operating modes of test circuits are analyzed, the high-voltage devices for testing of cables with insulation of cross-linked polyethylene and monitoring of their parameters: level of partial discharges and tangent of dielectric loss angle are developed. It was determined that probability of appearance of cable drum with defective cable does not exceed 1...3% of total amount.

Keywords: technical control facilities, non-destructive testing of products, power cables, spark testing, tangent of dielectric loss angle, partial discharge measurement.