

Рисунок 6 – Осциллограмма напряжения на шунте(1) и напряжения на выходе интегратора пояса Роговского(2)

**Список литературы:** 1. Болотин И.Б., Эйдель Л.З. Измерения в переходных режимах короткого замыкания. – Л.: Энергия, 1981. – 192 с. 2. Арсенюк В.В., Базалеев Н.И., Донец С.Е. и др. / Стимулирование неоднородностей в высокоэнергетических пучках электронов и их влияние на процессы массопереноса в облучаемых мишенях // Вопросы атомной науки и техники сер. Физика рад. поврежд. и радиац. материалов. – 2007. – № 6 (91). – С. 116-119. 3. Рябов Б.М. Измерение высоких импульсных напряжений. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отделение, 1983. – 124 с. 4. Бенгус В.З. Прецизионные шунты для измерения импульсных токов // Контрольно-измерительная техника. Республиканский межведомственный научно-тех. сборник. – 1976. – Вып. 20.

*Поступила в редколлегию 12.09.2008*

УДК 621.315

**В.В.ЗОЛОТАРЬОВ; В.П.КАРПУШЕНКО**, канд.экон.наук;  
**О.А.НАУМЕНКО**, канд.техн.наук; **В.М.ЗОЛОТАРЬОВ**, канд.техн.наук;  
 НТУ «ХП», Харків

## **ОСНОВНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ РОБОТИ ПОХИЛОЇ ЕКСТРУЗІЙНОЇ ЛІНІЇ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СИЛОВИХ КАБЕЛІВ НА НАПРУГУ ДО 330 КВ ТА ЇХ ЗАВОДСЬКИХ ВИПРОБУВАНЬ**

Розроблено основні принципи спорудження першої в Україні похилої лінії вулканізації для вітчизняних конструкцій силових кабелів напругою до 330 кВ та їх заводських випробувань.

The main principles of the construction of the first in Ukraine inclined vulcanization line for Ukraine designs of power cables on voltage up to 330 kV and their factory tests have been developed.

**Постановка задачі.** Світові тенденції розвитку кабельної техніки все більш прозоро вказують на можливість широкого застосування кабельних ліній напругою 110...330 кВ і вище з використанням кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену.

**Метою роботи** є розробка основних принципів побудови похилої лінії вулканізації зшитого поліетилену на рівні світових стандартів для ізоляції кабелів напругою до 330 кВ і основних положень та пристроїв їх заводських випробувань з метою забезпечення необхідного експлуатаційного ресурсу таких кабелів.

Поточна лінія екструзійного нанесення та зшивання поліетиленової ізоляції силових кабелів високої та надвисокої напруги призначена для поточного промислового виготовлення ізольованих алюмінієвих і мідних жил силових кабелів перерізом 35...2000 мм<sup>2</sup> на напругу 10...330 кВ. Така жила містить круглий скручений та ущільнений або виготовлений з 5 окремо ущільнених секторів, провідник струму та ізоляцією у вигляді екрану по металевому провіднику товщиною 0,4...3 мм з провідникового поліетилену, власне ізоляційного шару з високоякісного поліетилену товщиною до 28 мм та екрану по ізоляційному шару з провідникового поліетилену товщиною 0,4...3,5 мм. Всі три шари наносяться одночасно методом екструзії з допомогою потрійної екструзійної головки та вулканізуються в вулканізаційній трубі неперервної вулканізації при температурі 450° С в середовищі стиснутого до 16 атм азоту в газоподібному стані.

Лінія має такі основні показники.

1 Загальна потужність системи силового електроживлення 1,32 МВА.

Потужності окремих систем, вузлів і агрегатів:

- екструдерна група у складі трьох екструдерів – 0,45 МВА;
- вузол підігріву провідника жили перед входом в потрібну екструзійну головку – 0,12 МВА;
- вулканізаційна труба неперервної вулканізації – 0,35 МВА;
- вузол зварювання провідника жили – 0,3 МВА;
- інші вузли – 0,1 МВА.

2 Основні параметри лінії:

- лінійна швидкість – 0,3...50 м/хв;
- загальна довжина – 172 м;
- зусилля тягового пристрою – до 4,5 т.

3 Параметри виробу :

- діаметр – до 120 мм;
- вага – до 27 кг/м;
- діаметр барабану з кабелем – до 3 м;
- вага барабану з заготівкою (провідником) – до 20 т.
- вага барабану з виробом – до 30 т.

Принцип роботи лінії полягає в наступному.

Заготовка (провідник струмопровідної жили, що знаходиться на барабані, встановленому на віддаючому пристрої) пропускається через потрібну екструзійну головку, до якої подається одночасно розплав привитого поліетилену та інші компоненти від екструдерної групи у складі трьох екструдерів різної продуктивності. Таким чином одночасно наноситься перший шар провідникового поліетилену по провіднику жили, власне шар ізоляції з високоякісного поліетилену з високою електричною міцністю та екран по ізоляції з провідникового поліетилену. Для того, щоб в'язкий шар розплавленого поліетилену не зміщувався відносно провідника, застосовано пристрій підкручування. Він підкручує жилу в напрямку скрутки її дротин з кроком приблизно в один оберт на 30 погонних метрів жили. Це дає змогу одержати скоринку затверділого поліетилену на зовнішній поверхні ізоляції (там де знаходиться екран по ізоляції) та уникнути зтікання поліетиленової суміші по провіднику та уникнути ексцентриситету конструкції (тобто зміщення провідника від центру) на самому початку вулканізаційної труби.

Можливість такої технології забезпечує похилий профіль вулканізованої труби. В її центрі знаходиться ізольована жила, яку можна розглядати як важку матеріальну нитку. Кут  $\alpha$  утворений лінією, яка з'єднує точку з координатами  $(x, y)$  та точку початку координат, і віссю абсцисс задовольняє, як відомо з механіки, рівнянню:

$$\operatorname{tg} \alpha = gx/H,$$

де  $g$  – вага важкої матеріальної нитки на одиницю довжини;  $H$  – тяжіння в самій низькій точці.

Оскільки при виготовленні ізольованих жил кабелю різних перерізів та на різні напруги величина  $g$  змінюється, то повинен змінюватись і профіль провисання нитки:

$$y = \frac{1}{c} x^2,$$

де  $c = H/g$  – постійна провисання.

З наведених рівнянь видно, що зберегти профіль провисання нитки можна, якщо незмінною буде постійна величина провисання, що можливо створити регулюванням натягу  $H$ . Це здійснюється за рахунок регулювання моменту на валу двигуна, що приводить в дію гусеничний тяговий пристрій при постійній технологічній швидкості  $V$  руху жили в похилій лінії. Ці співвідношення покладені в основу дії системи керування рухом.

Споруджена лінія має постійну провисання, рівну 130 м, а регульований електропривід ЕП9 гусеничного тягового пристрою забезпечує горизонтальне тяжіння при виготовленні ізольованих жил перерізом мідного провідника 25...2000 мм<sup>2</sup>, або алюмінієвого провідника перерізом 35...2000 мм<sup>2</sup> при максимальному діаметрі ізольованої жили 120 мм та величині  $g = 27$  кг/м для кабелів на напругу 10...330 кВ.

В міру того, як вже ізолювана жила рухається в вулканізаційній трубі, проходить сухе пероксидне зшивання поліетилену в середовищі стиснутого до 16 атм газоподібного азоту при температурі 450° С та поступове подальше охолодження всіх трьох нанесених на провідник шарів.

Далі, вже затверділа тришарова конструкція поступово охолоджується в водяній ванні охолодження, яка теж являє собою трубу меншого діаметра та є продовженням труби вулканізації і відокремлена від неї спеціальним затвором. Готова ізолювана жила змотується на барабан, встановлений на приймальному пристрої.

Лінія, що використовує похилу трубу вулканізації отримала назву похилої лінії вулканізації. Вона має такі основні системи і компоненти.

- 1 Система силового електроживлення потужністю 1,32 МВА забезпечує розподіл та подачу необхідних потоків потужностей до всіх систем і компонент лінії при напрузі 220/380 В та частоті 50 Гц.
- 2 Система дозування компонент забезпечує пневматичну подачу до екструдерної групи всіх необхідних для технологічного процесу компонент в режимі «чистої кімнати», тобто виключає попадання яких-небудь небажаних домішок до чистих вихідних матеріалів.
- 3 Система підігріву забезпечує підігрів азоту та власне вулканізаційної труби діаметром 200 мм і довжиною 42 м з 7 секцій по 50 кВт потужності на секцію.
- 4 Система живлення і охолодження азотом забезпечує безперервне живлення вулканізаційної труби промисловим азотом чистотою 99,5 %, що споживає 8-12 м<sup>3</sup>/год при тиску 1 атм і температурі 20 °С і забезпечує первинне охолодження ізолюваної жили.
- 5 Система охолодження водою і повітрям разом з системою підігріву та системою живлення і охолодження азотом забезпечує оптимальний режим вулканізації та охолодження ізолюваної жили до температури цеху.
- 6 Система видалення побічних компонент видаляє побічні продукти вулканізації до закритих ємностей і забезпечує екологічну чистоту виробництва.
- 7 Система контролю забезпечує збір необхідної інформації та видає вихідні сигнали в режимі реального часу на систему керування та інші системи і вузли лінії. Основними показниками, що надходять до системи контролю та видаються нею як параметри регулювання, є:
  - постійна температура провідника на вході в екструзійну головку, за якою регулюється кількість тепла  $Q_{жв}$ , як функція швидкості руху жили;
  - постійна температура потрійної головки, за якою регулюється кількість тепла  $Q_2$ , необхідна для остаточного підігрівання в ній вже розплавлених компонент, що надходять від трьох безперервно працюючих екструдерів екструдерної групи;

- постійний найбільший тиск  $P_e$  розплавленої суміші на виході екструзійної головки, за яким регулюється подача екструдерів
  - поточний діаметр  $D_k$  ізольованої жили та її ексцентриситет, вимірювання яких забезпечує рентгенівський пристрій безперервної дії на виході з екструзійної головки;
  - температура вулканізації  $t_e$ , яка є лінійною функцією швидкості руху жили  $V$  і має бути тим вищою, чим вища ця швидкість для того, щоб процес вулканізації не виходив з так званого «плато вулканізації», де він є найбільш ефективним.
  - заданий тиск азотного середовища  $P_e$  в вулканізаційній трубі, який має бути постійним;
  - сигнал від пристрою електромагнітного контролю щодо допустимого відхилення жили від траєкторії розміщення важкої матеріальної нитки, з якою співпадає вісь похилої вулканізаційної труби і відносно якої проводиться регулювання горизонтального натягу  $H$  та кута  $\alpha$ , що виконується системою керування рухом;
  - інші аналогові та цифрові сигнали систем забезпечення працездатності та безпеки функціонування лінії.
- 8 Система керування рухом забезпечує автоматичне керування приводом примусового обертання віддаючого пристрою, електроприводом накопичувача ЕП6, електроприводами ЕП1, ЕП2, ЕП3 екструдерів екструдерної групи, електроприводом ЕП4 системи дозування вихідних компонент, електроприводом ЕП5 високочотного колісного пристрою зі стабілізацією лінійної швидкості руху жили, електроприводом ЕП10 пристрою підкручування жили, електроприводом ЕП9 гусеничного тягового пристрою (одного або кількох при необхідності) електроприводом ЕП8 приймального пристрою та електроприводами інших сервісних вузлів і механізмів лінії. Згадані електроприводи використовують принцип широтно-імпульсної модуляції шляхом створення з окремих імпульсів інших силових сигналів, які мають регульовану частоту та близьку до синусоїдальної форму. Це дає змогу застосувати найбільш прості та надійні безконтактні асинхронні двигуни і забезпечити в залежності від характеристик навантаження регулювання їх тягового моменту, частотне регулювання швидкості або інші більш складні і програмовані з допомогою мікро контролерів чи промислових комп'ютерів тягові режими.
  - 9 Система керування є повністю комп'ютеризованою і забезпечує надходження і утримання показників роботи на заданому режимі в допустимих межах, перехід від одного технологічного режиму до іншого, пуск та зупинку лінії.
  - 10 Система обробки і відображення інформації забезпечує відображення інформації про роботу лінії в режимі реального часу, а також об-

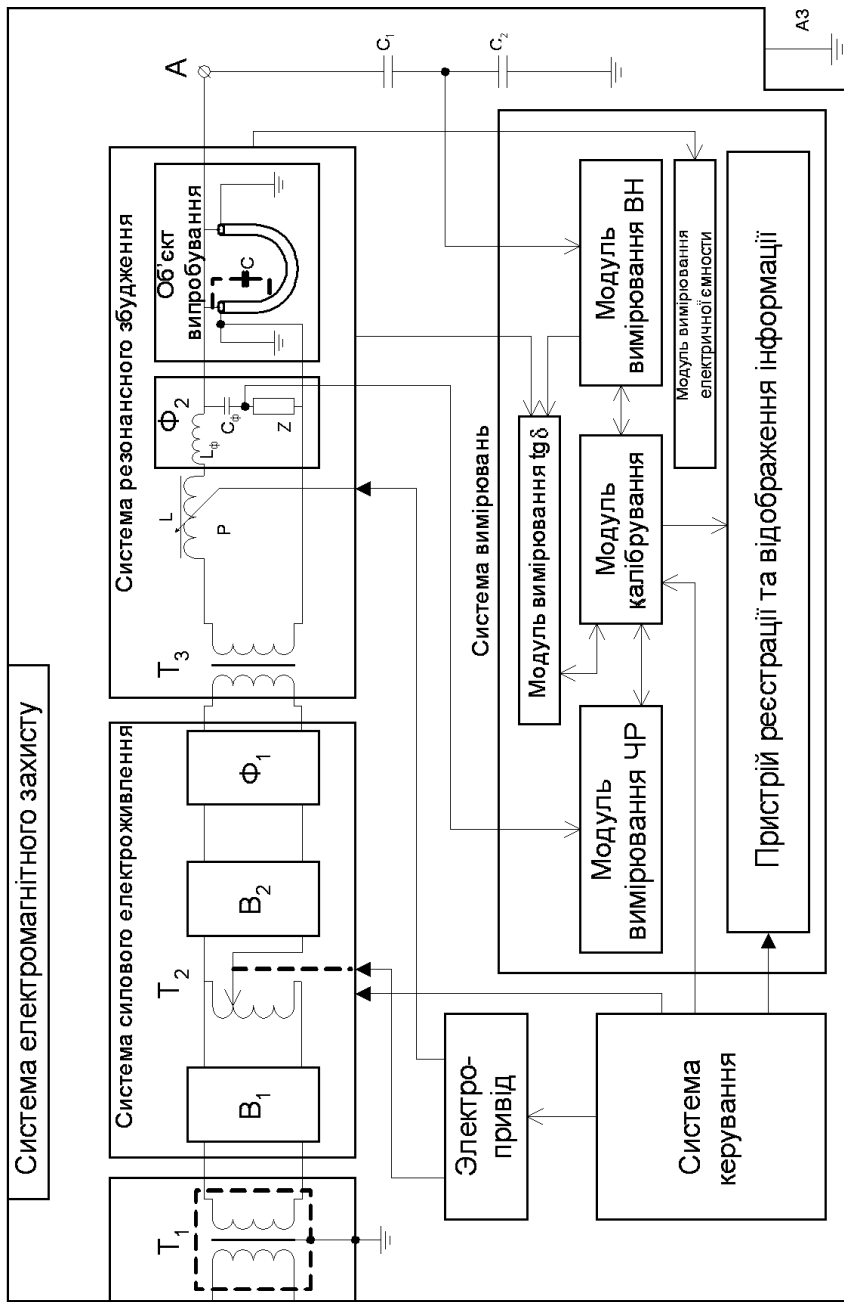
робку, накопичення, збереження і електронне протоколювання основних статистичних показників лінії та партій готових виробів.

11 Система сушіння забезпечує остаточне видалення вологи з поверхні ізолюваної жили з допомогою підігрітого потоку повітря.

До інших основних вузлів лінії слід віднести вузол підігріву жили та вузол зварювання жили. Вузол підігріву жили призначений для індукційного підігріву жили на частоті 10...20 кГц. Він має вихідну потужність 100 кВт і охолоджується водою при тиску 4 атм і споживанні води 40 л/хв., що забезпечує безперервний підігрів на технологічній швидкості роботи лінії алюмінієвого провідника до температури 140 °С, або мідного провідника до 120 °С і сприяє кращому зчепленню розплавленої пластмасової суміші з металом та значному підвищенню продуктивності лінії. Вузол зварювання жили забезпечує безперервну роботу лінії разом з подвійним віддаючим та подвійним приймальним пристроями. Якщо на барабані віддаючого пристрою закінчується заготовка (попередньо скручений і ущільнений провідник жили), то автоматично спрацьовує пневматичний затискач, який утримує кінець цього провідника і таким чином підтримує необхідний натяг. Під час зварювання жили електропривід ЕП6 приводить в рух одне з коліс накопичувача і він подає попередньо накопичену заготовку (до 240 м) в лінію, доти не закінчиться заміна барабана з заготовкою і зварювання жили. Це забезпечує її безперервну роботу, яка в часі обмежена тільки міроприємствами поточних та капітальних ремонтів та іншими технічними регламентами. Після зварювання жили накопичувач знову автоматично переводиться в режим накопичування заготовки з одночасним забезпеченням роботи лінії.

Після виготовлення ізолюваної жили, барабан з нею встановлюють на віддаючий пристрій лінії для нанесення обмотування шару провідникового водонабухаючого полотна, провідникового електричного екрану з м'яких мідних дротин та двох мідних стрічок і третього шару провідникового водонабухаючого полотна поверх металевого екрану. При цьому застосовується принцип одночасного синхронного обертання віддаючого і приймального пристрою, а також обертання гусеничного тягового пристрою навколо вісі провідника з одночасним рухом двох гусениць, що забезпечує лінійне переміщення жили. Така технологічна схема дозволяє наносити до 96 дротин в мідному екрані та разом з двома мідними стрічками досягати його перерізу від 35 до 120 кв. мм., що має важливе значення з точки зору забезпечення термічної стійкості екранів готового кабелю при його роботі в різних режимах роботи нейтралі, а також в несиметричних та аварійних режимах роботи вітчизняних електромереж напругою 10...330 кВ.

На цій же лінії можливо також скручування вже екранованих жил, причому можна зкрутити трьохжильні кабелі з відкручуванням круглих жил та нанесенням заповнення між жилами з барабанів діаметром до трьох метрів. Така кінематична схема досить прогресивна і дозволяє застосувати нерухомі



Функціональна схема високовольтного випробувального комплексу для випробування кабелів напругою 330 кВ

катушки з мідним дротом для виготовлення мідного екрану, або додатково накладати стрічкову чи дротяну броню таких кабелів при технічно прийнятних габаритах обертових вузлів крутильного обладнання.

Нанесення захисного покриття кабелю здійснюється на горизонтальній вулканізаційній лінії. При цьому барабан з екранованою струмопровідною жилою встановлюють на віддаючий пристрій. Після цього з допомогою спеціального пристрою повздовжньо наносять алюмополімерну плівку, покриту поліетиленом з двох сторін та обгортають нею кабель в калібрі з перекриттям, що забезпечує допустиме вигинання кабелю при його прокладанні. Далі з допомогою екструдера наносять розплавлений поліетилен чи полівінілхлоридний пластикат зі спеціальними компонентами (якщо необхідні якості непоширення горіння, або низького газодимовиділення) [1]. Розплавлена маса поліетилену зварюється з поліетиленом алюмополімерної плівки, що створює суцільну водонепроникну оболонку, яка захищає кабель від радіального проникнення води і вологи. Повздовжньому поширенню вологи запобігає водонабухаюче полотно. Така конструкція створює радіальне електричне поле в ізоляції, що забезпечує ресурс кабелю в умовах експлуатації не менше 25 років. При необхідності поверх може наноситись броня зі сталевих дротин для трьохжильних кабелів, або алюмінієвих дротин для одножильних кабелів та захисне покриття у вигляді екструдованої зовнішньої оболонки. Така технологія дає змогу, поряд з іншим, виготовляти також і кабелі для підводного прокладання, причому ЗАТ «Завод «Південкабель» має технологічні можливості для нанесення додаткової свинцевої оболонки методом пресування. Її наявність є неодмінною умовою для виробництва кабелів, які прокладаються в шахтах і воді згідно чинних стандартів і технічних умов країн СНД. На основі проведених досліджень була розроблена схема випробувального комплексу для заводських випробувань напругою до 500 КВ готових кабелів з ізоляцією із шитого поліетилену (см. рисунок). Такий комплекс забезпечує випробування напругою, вимірювання рівня часткових розрядів (ЧР), вимірювання тангенсу кута діелектричних втрат  $\tan \delta$  на високій напрузі і вимірювання електричної ємності будівельних довжин кабелю на низькій напрузі. Для вимірювання рівня ЧР використано принцип резонансного збудження коливального контуру, який складається з ємності кабелю та індуктивності високовольтного потужного реактора. Потужність в режимі збудження в контурі – 20 МВАр при добротності контуру в режимі послідовного резонансу напруги 40...60 одиниць.

## **Висновки**

- 1 З урахуванням світових тенденцій запропоновано прогресивну технологічну схему промислового виготовлення та випробування силових кабелів вітчизняних конструкцій з підвищеною нагрівостійкістю напругою 10...330 КВ з ізоляцією з шитого поліетилену.



- 2 Це дозволяє розробити нові конструкції кабелів для прокладання в землі, в повітрі, та під водою для експлуатації в умовах роботи енергосистем України та країн СНД.
- 3 Кабелі можуть бути використані як елементна база в техніці високих напруг, для спорудження формуючих ліній, мегаамперних кабельних трансформаторів струму та інших пристроїв для дослідження електрофізичних явищ.

**Список літератури:** 1. Золотарьов В.М., Карпушенко В.П., Антонець Ю.П., Василець Л.Г., Золотарьов В.В. Електричний кабель. Патент на корисну модель України № 29118. МПК H01B7/00, заявлено 23.05.07, опубл. 10.01.08, бюл. № 1, заявник ЗАТ «Завод «Південкабель».

*Надійшла до редколегії 03.11.2008*

УДК 621.315

**Н.Б.ЗЫКОВ**, ЗАО завод «Южкабель», Харьков

## **АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ НА СВОЙСТВА ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА**

Викладена якісна сторона механізму деструкції поліетиленової ізоляції силових кабелів щодо дії високих напруг.

The qualitative aspect of degradation process of power cable polyethylene insulation under high voltages is expounded.

Влияние частичных разрядов на электрозащитные свойства изоляции кабельной продукции широко изучается с середины XX века. Замеры уровня частичных разрядов в изоляции кабельных изделий являются одним из эффективных методов определения степени функциональности изоляции. В статье раскрывается актуальность проведения исследований в направлении подбора оптимального сочетания факторов влияния на изоляцию кабельных изделий для снижения уровня частичных разрядов.

**Постановка проблемы.** Мировые тенденции совершенствования средств канализации электрических мощностей четко указывают на все более широкое применение кабельных линий как каналов для передачи и распределения электрической энергии, удовлетворяющих современным требованиям по надежности и экологической безопасности во всем диапазоне рабочих напряжений и, в первую очередь, линий с использованием кабелей с