

**Оптимізація нової технології промислового виготовлення кабелів з твердою полімерною ізоляцією для удосконалення енергетичних мереж надвисоких напруг.
Оптимизация новой технологии промышленного изготовления кабелей с твердой полимерной изоляцией для усовершенствования энергетических сетей сверхвысоких напряжений.**

Optimization of new technology for industrial production of cables with solid polymeric insulation for improvement of energetic networks of ultrahigh voltages.

1. **Номер державної реєстрації теми** – 0110U000269
2. **Науковий керівник** – член-кореспондент НАН України, д.т.н., проф. **Щерба А.А., Щерба А.А., Shcherba A.A.**
3. **Суть розробки, основні результати**
(укр.)

Суть розробки полягає у забезпеченні науково-технічної підтримки промислового випуску на Україні кабелів світового рівня на надвисокі напруги, які не випускаються в країнах СНД. Розроблено рекомендації та технічні рішення для оптимізації нової технології виготовлення кабелів з твердою полімерною ізоляцією на напруги до 330 кВ, зокрема розроблено нові методи оптимізації технології нанесення ізоляції на рухому жилу та методи її наноструктурної вулканізації у камері похилого типу. Нові методи базуються на розробці:

- нових критеріїв та математичних моделей для оцінки якості полімерної ізоляції;
- моделей для оптимізації характеристик ізоляції, похилої вулканізаційної камери й електроприводів регулювання руху жили з урахуванням провалів напруги живлення;
- методів оптимізації технологій індукційної стабілізації температури жили, екструзійного нанесення на неї трьох шарів ізоляції, швидкого їх охолодження до твердого стану з подальшим нагріванням, регулювання лінійного й обертового руху жили з ізоляцією, контролю товщини кожного її шару та температури всіх зон термообробки.

Було визначено стратегію регулювання руху жили з ізоляцією у вулканізаційній камері для стабілізації товщини й ексцентриситету кожного шару ізоляції при виникаючих перехідних процесах в системі частотно-регульованих електроприводів. Розроблено математичну модель рухомої вільно провисаючої жили з ізоляцією у похилій вулканізаційній камері для визначення оптимальних параметрів камери й електроприводів. Ці параметри використовувались в Simulink-моделі для визначення алгоритмів усунення поперечних і поздовжніх коливань жили з урахуванням перехідних процесів в системі частотно-регульованих електроприводів. Завершенням була оптимізація режимів регулювання товщини й ексцентриситету всіх шарів ізоляції та температури в кожній зоні термообробки ізоляції.

Експерименти провадились на обладнанні заводу "Південкабель" (м. Харків), на якому було здійснено промислове впровадження отриманих за темою результатів. Результати використано також в розробці нормативного видання "Руководство по выбору, прокладке, монтажу, испытаниям и эксплуатации кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 220 кВ и 330 кВ. РД К28-004: 2010". Харьков, 2011.

(рос.)

Суть разработки состоит в обеспечении научно-технической поддержки промышленного выпуска на Украине кабелей мирового уровня на сверхвысокие напряжения, которые не выпускаются в странах СНГ. Разработаны рекомендации и технические решения для оптимизации новой технологии изготовления кабелей с твердой полимерной изоляцией на напряжения до 330 кВ, в частности разработаны новые методы оптимизации технологии нанесения изоляции на движущуюся жилу и методы ее наноструктурной вулканизации в камере наклонного типа. Новые методы базируются на разработке:

- новых критериев и математических моделей для оценки качества полимерной изоляции;

- моделей для оптимизации параметров изоляции, наклонной вулканизационной камеры и электроприводов регулирования движения жилы с учетом провалов напряжения питания;

- методов оптимизации технологий индукционной стабилизации температуры жилы, экструзионного нанесения на нее трех слоев изоляции, быстрого их охлаждения до твердого состояния с дальнейшим нагревом, регулирования линейного и вращательного движения жилы с изоляцией, контроля толщины каждого ее слоя и температуры всех зон термообработки.

Была определена стратегия регулирования движения жилы с изоляцией в вулканизационной камере для стабилизации толщины и эксцентриситета каждого слоя изоляции при возникающих переходных процессах в системе частотно-регулируемых электроприводов. Разработана математическая модель движущейся свободно провисающей жилы с изоляцией в наклонной вулканизационной камере для определения оптимальных параметров камеры и электроприводов. Эти параметры использовались в Simulink-модели для определения алгоритмов устранения поперечных и продольных колебаний жилы с учетом переходных процессов в системе частотно-регулируемых электроприводов. В завершение осуществлялась оптимизация режимов регулирования толщины и эксцентриситета всех слоев изоляции и температуры в каждой зоне термообработки изоляции.

Эксперименты проводились на оборудовании завода "Південкабель" (г. Харьков), на котором было осуществлено промышленное внедрение полученных по теме результатов. Результаты работы использованы также при разработке нормативного издания "Руководство по выбору, прокладке, монтажу, испытаниям и эксплуатации кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 220 кВ и 330 кВ. РД К28-004: 2010". Харьков, 2011.

(англ.)

The essence of development is to provide scientific and technical support of industrial production in Ukraine of world level EHV cables, which are not produced in CIS countries. The recommendations and technical solutions to optimization of new technology of cable production with solid polymer insulation for voltages up to 330 kV have been developed, in particular it has been developed new methods of optimization technology of insulation covering on the moving conductor and its nano-structural vulcanization in inclined type chamber. New methods are based on the development of:

- new criteria and mathematical models for evaluation of quality of polymeric insulation;
- models for optimization the characteristics of insulation, inclined vulcanization chamber and electric drives for moving conductor control, taking into account supply voltage drops;
- methods for optimization of technologies of induction temperature stabilization of conductor, extrusion covering of three layers of insulation on conductor and quick cooling them to a solid state with further heating, the regulation of linear and rotational motion of conductors with insulation, controls of thickness of each its layer and temperature in all zones of heat treatment.

It has been determined the control strategy of movement of conductor with insulation in vulcanization chamber for stabilization the thickness and eccentricity of each layer of insulation under transient occurring in the systems of variable-frequency electric drives. It has been developed the mathematical model for free sagging conductor with insulation moving in the inclined vulcanization chamber to determine the optimal parameters of chamber and electric drives. These parameters were used in the Simulink-model for determination of algorithms of elimination of transverse and longitudinal vibrations of the conductor taking into account the transient processes in the variable-frequency electric drive system. In conclusion it has been realized the optimization the control regimes of thickness and eccentricity of all the layers of insulation and temperature in each zone of the heat treatment of insulation.

The experiments were performed on plant "Pivdenkabel" (Kharkiv), which carried out industrial application received results according theme. The results of work have been also used

during development of normative publication "Guide for the selection, installation, erection, testing and maintenance of cables with XLPE insulation for 220 kV and 330 kV. RD K28 -004: 2010." Kharkov, 2011.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

Охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності оформлені у 2009 р., зокрема – Пат. 87501 Україна, МПК Н 01 В 7/02. Силовий кабель надвисокої напруги / В.М.Золотарьов, В.П.Карпушенко, Ю.П.Антонець, Л.Г.Василець, А.К.Шидловський, А.А.Щерба, О.Д.Подольцев. Опубл. 27.07.09. Бюл. № 14.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають світовому рівню, а за деякими показниками є кращими.

Так освоєння на заводі "Південкабель" (Україна, м. Харків) промислового випуску кабелів з твердою полімерною ізоляцією на надвисокі напруги є першим освоєнням такої наукоємної конкурентноздатної електротехнічної продукції серед країн СНД. Результати Європейського центру випробувань показали, що вітчизняні кабелі надвисоких напруг мають характеристики на рівні кабелів таких відомих фірм, як Brugg Cables (Швейцарія), Nexans (Норвегія), Okonite (США), J-Power- Systems (Японія), REKA Cables (Фінляндія). Тому на надвисоковольтні кабелі заводу "Південкабель" (Україна) рекомендовано видати міжнародний сертифікат якості.

Указані фірми не використовують методики поточного розрахунку перехідних процесів в системі частотно-регульованих електроприводів, які регулюють швидкість руху жили та зменшують амплітуди її поперечних і поздовжніх коливань при провалах напруги електроживлення, змінні прискорюючих і гальмуючих зусиль, перерізу жили та товщини шарів ізоляції. Вони здійснюють регулювання лише при відключенні лінії нанесення на жилу ізоляції та її вулканізації в похилій лінії, що є неможливим при використанні вітчизняних систем електропостачання з поточними провалами напруги більше 10%. Також зарубіжні фірми поки ще визначають наявність в ізоляції лише окремих мікродефектів з розмірами, більшими від критичних, і ураховують тільки детерміновані механізми її деградації.

В НДР обґрунтовано, що важливо також визначати вплив близько розташованих мікрочлених з розмірами меншими від критичних, на найбільшу напруженість електричного поля та величину локальних напружених об'ємів ізоляції, що забезпечує урахування детермінованих і стохастичних механізмів її деградації для підвищення її надійності та ресурсу.

На нашу думку, саме відсутність методів вирішення цих проблем заважає до цих пір освоїти промисловий випуск надвисоковольтних кабелів зі зшитою поліетиленовою ізоляцією в Росії, незважаючи на те, що планувалось вирішити цю проблему вже декілька років тому.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Отримані результати мають перспективу для впровадження на зарубіжних заводах, які вже виготовляють кабелі на надвисокі напруги (див.п. 5) та заводах Росії, які вже давно виявляють бажання освоїти таку електротехнічну продукцію.

На Україні технологію пероксидної зшивки ізоляції, яку використовує завод "Південкабель" (м. Харків), поки що не освоїв жоден з інших заводів. Найближче до цього знаходиться Одеський кабельний завод, але поки що він використовує силанольно зшиту ізоляцію, яка має гірші експлуатаційні показники при напругах більших 1 кВ. Але економічна привабливість результатів НДР в Україні є не тільки для кабельних заводів, а й для підприємств, які випускають будь які високовольтні електротехнічні вироби, зокрема полімерні ізолятори та трансформатори для високовольтних і надвисоковольтних повітряних ліній електропередачі.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Використання результатів НДР пропонується провадити на заводі "Південкабель" (м. Харків) та інших кабельних заводах України, в Науково-дослідному інституті високих напруг (м. Славянськ), Науково-дослідному та проектно-конструкторському інституті

„Молнія” при НТУ „ХПІ” (м. Харків), Інституті електродинаміки НАН України (м. Київ), Інституті проблем моделювання в енергетиці НАН України (м. Київ), Інституті імпульсних процесів та технологій НАН України (м. Миколаїв), Науково-виробничому об'єднанні „Укренерго” (м. Київ), Інституті „Укрмереженергопроект” (м. Київ) та в системі підготовки бакалаврів і магістрів на кафедрах теоретичної електротехніки, техніки і електрофізики високих напруг, електроізоляційної та кабельної техніки НТУУ „КПІ” та НТУ „ХПІ”.

8. Стан готовності розробки.

Розроблені нові методи оптимізації технології нанесення ізоляції на рухому жилу та методи її наноструктурної вулканізації у камері похилого типу, які базуються на розробці:

- нових критеріїв та математичних моделей для оцінки якості полімерної ізоляції;
- моделей для оптимізації характеристик ізоляції, похилої вулканізаційної камери й електроприводів регулювання руху жили з урахуванням провалів напруги живлення;
- методів оптимізації технологій стабілізації температури жили, нанесення ізоляції, регулювання її температури, руху жили з ізоляцією та контролю товщини кожного її шару;
- можуть використовуватись для оптимізації технологій пероксидного зшивання полімерної ізоляції при виготовлення кабелів на напруги до 330 кВ і більше.

Методи, математичні моделі і методики для визначення впливу близько розташованих мікрովключень з розмірами меншими від критичних, на найбільшу напруженість електричного поля в ізоляції та величину її локальних напружених об'ємів, що забезпечує урахування детермінованих і стохастичних механізмів її деградації. Ці результати можуть бути використані при оптимізації технологічних процесів виготовлення твердої полімерної ізоляції для будь яких високовольтних електротехнічних виробів, зокрема полімерних ізоляторів та високовольтних трансформаторів для високовольтних і надвисоковольтних повітряних ліній електропередачі.

Існуючі результати впровадження.

Впровадження на заводі „Південкабель” (м. Харків) в технологічній лінії промислового випуску сучасних кабелів з твердою полімерною ізоляцією на надвисокі напруги

9. Назва організації, телефон, E-mail

НТУУ «КПІ», ФЕА, кафедра ТЕ. 03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37, корпус 20. тел. (044) 406-82-39, 456-10-51. e-mail: toe209@gmail.com , sh1ch@ied.org.ua

10. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. *Золотарьов В.М.* Електротехнологічний комплекс для виробництва високовольтних та надвисоковольтних кабелів з полімерною ізоляцією. Дис...докт. техн. наук. Київ, 2010. – 394 с.
2. *Золотарьов В.М., Карпушенко В.П., Щерба А.А. и др.* Руководство по выбору, прокладке, монтажу, испытаниям и эксплуатации кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 220 кВ и 330 кВ // Харьков: Майдан, 2011. – 42 с.
3. *Щерба А.А., Кирик В.В.* Систем з нечіткою логікою регулювання електроенергетичних режимів // Київ: 2011. – 330 с.
4. *Щерба А.А., Золотарьов В.М., Подольцев А.Д.* Концепция электротехнологических систем для нанесения полимерной изоляции на жилу сверхвысоковольтных кабелей // Праці ІЕД НАН України. – 2011. – № 29. – С. 138–147.
5. *Щерба А.А., Поворознюк Н.І.* Електротехніка. Ч.1. Електричні кола // Київ: 2011. – 384 с.
6. *Щерба А.А., Кудря Є.А., Святненко В.А. и др.* Теоретичні основи електротехніки. Розділ "Кола з розподіленими параметрами нелінійні електричні кола". Метод. вказівки для студ. напрямів підгот. 6.050701 "Електротехніка та електротехнології", 6.050702 "Електромеханіка" // Електронний засіб навчального призначення НМУ № Е9/10–088. – НТУУ "ПКІ" 2010. – 57 с.

7. Щерба А.А., Золотарев В.М., Подольцев А.Д., Кучерявая И.Н. Принципы построения и тенденции развития пожаробезопасных кабелей // Техн. електродинаміка, Ч.2. Тем. вип. "Силовая електроніка та енергоефективність", 2010, – С. 73–80.
8. Щерба А.А., Щерба М.А. Моделирование и анализ электрического поля в диэлектрической среде, возмущенного проводящими микровключениями разных размеров и конфигураций. // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 3–9.
9. Щерба А.А., Подольцев А.Д., Кучерявая И.Н., Золотарев В.М. Электрический транспорт полярных молекул воды в неоднородном электрическом поле полимерной изоляции высоковольтных кабелей // Техн. електродинаміка. – 2010. – №5. – С.3–9.
10. Щерба М.А. Влияние характерных размеров проводящих включений на возмущения электрического поля в диэлектрической среде // Праці ІЕД НАН України. – 2011. – № 30. – С. 138–147.
11. Щерба А.А., Золотарев В.М., Подольцев А.Д., Кучерявая И.Н. Принципы построения и тенденции развития пожаробезопасных кабелей // Техн. електродинаміка. Темат. вип. "Силовая електроніка та енергоефективність". – 2010. – Ч. 2. – С. 73–80.
12. Щерба М.А. Закономерности возмущения электрического поля в диэлектрической среде вокруг проводящего эллипсоидального включения с дендритом на поверхности // Допов. за матер. МНТК "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – Київ: Політехніка, 2010. – С. 527–530.
13. Щерба А.А., Михайленко В.В. Зменшення нестабільності розрядних імпульсів у високочастотних системах шляхом включення ємнісного фільтру // Техн. електродинаміка, Ч.2. Тем. вип. "Силовая електроніка та енергоефективність", 2010, – С. 52–55.
14. Щерба М.А. Локальное усиление электрического поля в полимерной изоляции возле водного дендрита на поверхности проводящего микровключения // Доп. за мат. МНТК "Фізика імпульсних разрядів в конденсованих средах". – Миколаїв, 2011. – С. 40–43.
15. Щерба А.А., Подольцев А.Д., Кучерявая И.Н., Золотарев В.М. Электрический транспорт полярных молекул воды в неоднородном электрическом поле полимерной изоляции высоковольтных кабелей // Техн. електродинаміка. –2010. – № 5. – С. 3–9.
16. Щерба А.А., Спишул Л.Ю. Оценка точности численного моделирования и расчета электрических полей в гетерогенных средах // Техн. електродинаміка. Тем. вип. „Силовая електроніка та енергоефективність”.– 2011. – Ч.2. – С. 266–270.
17. Щерба М.А. Закономерности изменения локального напряженного объема диэлектрика при изменении расстояния между проводящими микровключениями разных конфигураций // Техн. електродинаміка. Тем. вип. “Силовая електроніка та енергоефективність”– 2010. – Ч.2. – С. 254–257.
18. Золотарев В.М., Щерба А.А., Подольцев А.Д. Моделирование динамических процессов в электромеханическом комплексе для обеспечения требуемого движения силового кабеля с полиэтиленовой изоляцией в наклонной экструзионной линии // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 3. – С. 44–51.
19. Щерба М.А. Изменения напряженного объема в диэлектрической среде возле проводящих включений при их сближении и слиянии // Доповіді за матер. МНТК "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – Київ: Політехніка, 2010. – С. 530–533.
20. Щерба М.А. Расчет возмущений электрического поля и напряженного объема в диэлектрической среде вблизи проводящих микровключений // Доповіді за матер. ВНПК "Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики". Київ: НТУУ "КПІ", 2010. – С. 67–68.
21. Щерба М.А. Влияние размеров близко расположенных токопроводящих включений на возмущение электрического поля в диэлектрической среде между ними // Техн.

- електродинаміка. Тем. вип. "Силова електроніка та енергоефективність" – 2011. – Ч.1. – С. 287–292.
22. Щерба М.А., Золотарев В.М. Анализ электрического поля в диэлектрической среде между выступом на эквипотенциальной поверхности и токопроводящим включением // Техн. електродинаміка // Техн. електродинаміка. Тем. вип. "Силова електроніка та енергоефективність" – 2011. – Ч.2. – С. 235–240.
 23. Щерба М.А., Подольцев О.Д. Усиление электрического поля в диэлектрическом промежутке между проводящими включениями // Техн. електродинаміка. – 2011. – № 5. – С. 12–17.
 24. Золотарев В.М., Щерба А.А., Подольцев А.Д., Кучерявая И.Н. Анализ высокочастотных процессов в кабеле на напряжение 330 кВ с сегментированной жилой при возникновении частичных разрядов в его изоляции // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 2. – С. 3–10.
 25. Щерба А.А., Подольцев А.Д., Золотарев В.М., Супруновская Н.И., Кучерявая И.Н. Резонансная система для испытания сверхвысоковольтных кабелей со сшитой полиэтиленовой изоляцией // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2010. – № 26. – С. 142–151.
 26. Щерба А.А., Подольцев А.Д., Кучерявая И.Н., Золотарев В.М. Определение ресурса работы высоковольтного кабеля в условиях пожара // Технічна електродинаміка. – Темат. вип. "Силова електроніка та енергоефективність". – 2010. – Ч. 1. – С. 193–196.
 27. Щерба М.А., Макаренко Н.В. Багатомасштабне моделювання для деталізації розподілу електричного поля // Доповіді за матер. МНТК "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – Київ: Політехніка, 2011. – С. 531–533.
 28. Щерба М.А., Процько Т.В. Чисельне моделювання розподілу низькочастотного електричного поля // Доповіді за матер. МНТК "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – Київ: Політехніка, 2011. – С. 542–544.
 29. Золотарев В.М., Щерба А.А., Подольцев А.Д. Моделирование динамических процессов в электромеханическом комплексе для обеспечения требуемого движения силового кабеля с полиэтиленовой изоляцией в наклонной экструзионной линии // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 3. – С. 44–51.
 30. Щерба М.А., Чибелис В.И., Кочина М.В. Влияние характерных размеров проводящего дендрита на возмущение электрического поля возле его острия // Доповіді за матер. МНТК "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – Київ: Політехніка, 2011. – С. 556–568.
 31. Щерба А.А., Захарченко С.М., Спінул Л.Ю. Закономірності змінення електричного опору шару гранул при їх електроіскровому диспергуванні // Праці ІЕД НАН України. – 2010. – № 25. – С. 133–139.
 32. Щерба А.А., Супруновская Н.И., Шевченко Н.И. Стабилизация длительности разрядных токов в нагрузке в формирователях с отрицательной обратной связью по напряжению // Физика импульсных разрядов в конденсированных средах. Материалы XV МНТК (15-19 августа 2011). – Николаев, 2011. – С. 193–196.
 33. Щерба А.А., Винниченко Д.В. Диагностика фазового состава кристаллизующегося металла для управления воздействием интенсивных потоков энергии на вещество // Физика импульсных разрядов в конденсированных средах. Материалы XV МНТК (15-19 августа 2011). – Николаев, 2011. – С. 153–156.
 34. Щерба А.А., Иващенко Д.С. Анализ зависимости средней скорости нарастания токов в нагрузке от емкости разряжаемого конденсатора // Физика импульсных разрядов в конденсированных средах. Материалы XV МНТК (15-19 августа 2011). – Николаев, 2011. – С. 197–200.
 35. Щерба А.А., Супруновская Н.И., Шевченко Н.И. Стабилизация режимов формирователя разрядных импульсов с учетом времени восстановления коммутаторов // Техн.

- електродинаміка. Тем. вип. "Силова електроніка та енергоефективність". – 2011, ч. 2. – С. 62–67.
36. Щерба А.А., Третьяк М.В., Иващенко Д.С. Анализ переходных и установившихся электрических режимов в автономных электрических цепях // Техн. електродинаміка. Тем. вип. "Силова електроніка та енергоефективність". – 2011, ч. 2. – С. 93–98.
 37. Щерба А.А., Кудря Е.А., Лободзинський В.Ю. Теоретичні основи електротехніки. Кола з розподіленими параметрами та нелінійні кола. НТУУ "КПІ", 2010. – 57 с.
 38. Щерба А.А., Грудська В.П., Скринник О.М. Електротехніка та електроніка. – Київ НТУУ "КПІ", 2010. – 76 с.
 39. Щерба А.А., Ломко Н.А. Электромагнитная совместимость двухиндукторных амплитуднофазозависимых магнитодинамических установок с питающей трехфазной сетью // Техн. електродинаміка. Тем. вип. "Силова електроніка та енергоефективність". – 2011, ч. 2. – С. 56–61.
 40. Щерба А.А., Лободзинский В.Ю. Математическое моделирование электромагнитных процессов в трехфазной кабельной линии электропередачи при разных транспозициях экранов однофазных кабелей // Техн. електродинаміка. Тем. вип. "Силова електроніка та енергоефективність". – 2011, ч. 2. – С. 271–276.
 41. Щерба А.А., Серпилин К.Л., Маков Д.К. Повышение точности измерения несимметрии трехфазного напряжения // 20th National Scientific Symposium " Metrology and metrology assurance 2010" September 9-13, 2010, Sozopol, Bulgaria Proceedings, P. 223–226.
 42. Щерба А.А., Серпилин К.Л., Маков Д.К. Измерение коэффициента искажения синусоидальности КИС трехфазного напряжения // 21th National Scientific Symposium " Metrology and metrology assurance 2010" September 10-14, 2011, Sozopol, Bulgaria Proceedings, P. 196–199.
 43. Щерба А.А., Спінул Л.Ю. Точність та збіжність чисельного моделювання розподілу напруженості електричного поля в діелектричній ізоляції з провідними включеннями // Праці ІЕД НАН України. – 2010. – № 27. – С. 111–116.
 44. Антонец Т.Ю., Антонец С.Ю., Золотарев В.М., Науменко А.А. Математическая модель для расчета наведенных напряжений на экранах кабелей // Вісн. Нац. техн. ун-ту "ХПІ". – 2010. – № 18. – С. 3–8.