

М. П. Лабзун;**В. М. Кутін, докт. техн. наук, проф.**

КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ ОПОРНО-СТРИЖНЕВИХ ІЗОЛЯТОРІВ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Визначено сукупність діагностичних параметрів комплексного методу контролю технічного стану опорно-стрижневих ізоляторів на напругу 35 кВ і вище та їх граничні значення. Запропоновано методику розрахунку економічної ефективності використання методу.

Вступ

Значна кількість пошкоджень опорно-стрижневих ізоляторів (ОСІ) вимагають покращення якості контролю технічного стану ОСІ в експлуатації.

Методи, які використовуються згідно з чинною нормативно-технічною документацією для контролю технічного стану ОСІ в експлуатації мають низьку вірогідність діагнозу. Підвищення рівня вірогідності діагнозу досягається шляхом застосування комплексного методу контролю ОСІ, який передбачає визначення сукупності діагностичних параметрів методу та їх граничних значень, оптимальну послідовність етапів контролю та подальші технічні заходи щодо керування технічним станом ОСІ, в залежності від значень виміряних діагностичних параметрів.

Матеріали і результати досліджень

Для створення комплексного методу, проведено оцінку ефективності методів, які доцільно використовувати для контролю ізоляторів, на основі достовірності виявлення дефектів та їх небезпеки [1]. До ефективних методів контролю ізоляторів відносяться: візуальний контроль — ВК; контроль засобами інфрачервоної техніки — ТВК (тепловізійний контроль); ультразвукова структурометрія та дефектометрія — УЗК (яка включає УЗ-структурометрію та УЗ-дефектометрію); випробування силовими методами, в тому числі — з реєстрацією сигналів акустичної емісії — АЕ.

Запропоновано розподіл ізоляторів на групи експлуатаційної придатності за результатами контролю, що забезпечує можливість оцінювання технічного стану різними методами та дозволяє визначати технічні заходи щодо подальшого контролю ізолятора віднесеного до однієї з груп експлуатаційної придатності за результатами контролю одного з методів.

Для уточнення та перевірки критеріїв відбракування для неруйнівних методів, які використовуються для контролю ОСІ в експлуатації рекомендується виконувати випробування методом фуксинової проби під тиском на фрагментах фарфору ОСІ зруйнованих та/або відбракованих неруйнівними методами. Для ОСІ, які входять до складу роз'єднувачів 35–220 кВ, контроль ультразвуковими методами може бути замінений або доповнений випробуваннями механічної міцності.

Для ізоляторів з дефектом відкрита мікроскопічна пористість (ВМП) висновок про експлуатаційну придатність формується за комплексним оцінюванням результатів ультразвукової структурометрії та дефектометрії. У разі якщо швидкість розповсюдження УЗ-хвиль в фарфорі нижче граничної, тобто може спостерігатися утворення мікроскопічної пористості, а рівень УЗ-хвиль відбитих від дефектів чітко розрізняється на фоні структурних шумів фарфору, то всередині фарфору існує зона розтріскування, а ізолятор вважається непридатним.

За результатами випробувань методом фуксинової проби під тиском зразків фарфору ізоляторів різних технологічних партій (тип, завод, період виготовлення) визначені граничні швидкості розповсюдження УЗ-хвиль в фарфорі, нижче яких може спостерігатися утворення

мікроскопічної пористості. Граничний діагностичний параметр для ультразвукової структурометрії наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Значення граничних швидкостей розповсюдження УЗ-хвиль в фарфорі

Тип ізолятора	Завод виробник	Період виготовлення	Граничні значення швидкості C_0 , м/с
АКО-110	ПЗВЕІ	1972–1975	5550
ИОС-110-600	ПЗВЕІ	1977–1989	5600
ИОС-110-600	ПЗВЕІ	1995	5600
КО-400-1000	СЗВІ	1967	5450
ОНС-110/300	СЗВІ	1973	5500
АКО-110/600	СЗВІ	1973–1976	5500
ИОС-110/400	СЗВІ	1978–1979	5550
ИОС-110-400	СЗВІ	1984–1987	5550
ИОС-110-400	СЗВІ	1993–1999	5550
ИОС-110-600	СЗВІ	1980–1983	5500
ИОС-35-1000	СЗВІ	1998	5500
АКО-110	ВЗЕФ	1974–1978	5600
ИОС-110-600	ВЗЕФ	1979–1980	5650
ИОС-110-400	ВЗЕФ	1981–1996	5650
ИОС-110-600	ВЗЕФ	1983–1989	5650
АКО-110	ЛФЗ	1974–1976	5650
ИОС-110-400	СФРЮ	1978–1984	6150
ИОС-110-600	ПЗВЕІ	2001-2002	5600
ИОС-110-600	СЗВІ	2005-2011	6000
ИОС-110-600	ВЗЕФ	2004-2011	6100

На основі експериментальних даних та за статистикою відмов визначено граничні значення діагностичних параметрів методу ультразвукової дефектометрії для ізоляторів з різними типами дефектів.

Вибір значень граничних діагностичних параметрів для контролю засобами ІЧТ зумовлений: незначними температурними аномаліями дефектних ОСІ з одного боку та факторами, які можуть призвести до помилкового відбракування — з іншого. Межа чутливості методу складає $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, однак, температурні аномалії, викликані факторами, які призводять до помилкового відбракування, можуть складати близько $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в верхньому небезпечному перерізі і більше $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, тому ізолятори з такими температурними аномаліями відносяться до умовно-придатних.

За результатами проведених досліджень розроблено нормативний документ Міненерговугілля щодо комплексного контролю технічного стану ОСІ в експлуатації [2].

Значення діагностичних параметрів, які рекомендуються в якості критеріїв відбракування для визначення експлуатаційної придатності ОСІ різними методами контролю технічного стану ОСІ, наведено в таблиці 2.

Нормовані значення діагностичних параметрів ОСІ

Метод контролю технічного стану ОСІ	Параметр контролю	Значення критерію для груп експлуатаційної придатності ОСІ		
		придатні	умовно придатні	непридатні
Фукусинова проба під тиском (рекомендовано)	глибина проникнення фарбувального розчину вглиб зразків фарфору під тиском (не менше 150 атм) та експозиції 1800 атм · год.	—	—	наявність профарбування (0,5 мм та більше)
Візуальний контроль зовнішнього стану	наявність недопустимих дефектів (тріщин, цеку глазури та відкритих пухирів на поверхні фарфору, сколів в ствольовій частині ізолятора);	відсутність	відсутність	наявність
	площа та глибина допустимих поверхневих дефектів (відсутність глазури, засмічення, виплавки, подряпини, риси, металічний блиск, наколи, кольорові відхилення тощо);	не більша ніж 2 см ² , за умови виконаного відновлювального ремонту	не більша ніж 2 см ² , якщо відновлювальний ремонт не проведено	площа більша ніж 2 см ² або глибина більше чим 2 мм
	площа поверхневого викришування цементної зв'язки	відсутність	не перевищує 10 см ² , за умови відновлювального ремонту	перевищує 10 см ²
	наявність видимих тріщин фланців	відсутність	відсутність	наявність
Ультразвукова дефектометрія	при дефектометрії у небезпечних перерізах та армованих частинах ізолятора: донний імпульс (ДІ); сумарна амплітуда та розташування на дефектограмі сигналів відбитих від дефектів, які розташовані в глибинних об'ємах фарфору (зони ОМАП, ЗАСП, глибинні МД), в порівнянні з амплітудою ДІ; амплітуда та розташування на дефектограмі сигналів відбитих від дефектів, які за видом дефекту класифікуються як тріщини або зони розтріскування (розвинення дефекту ВМП) або приповерхневі місцеві дефекти	ДІ присутній і сумарна амплітуда менше половини амплітуди ДІ і характерні сигнали відсутні	ДІ присутній і сумарна амплітуда менше половини амплітуди ДІ і характерні сигнали відсутні або ОСІ партії мають негативну статистику відмов	ДІ відсутній і сумарна амплітуда більше половини амплітуди ДІ; характерні сигнали чітко розрізняються на фоні структурних шумів фарфору
Ультразвукова структурометрія	різниця (в м/с) швидкості розповсюдження УЗ-хвиль С в небезпечних перерізах та швидкості розповсюдження УЗ-хвиль С ₀ (табл. 1)	$C > C_0$	$C_0 - C \leq 200$ м/с	$C_0 - C > 200$ м/с
Реєстрація сигналів АЕ при механічному навантаженні	інформаційний сигнал приладу про перевищення граничного рівня АЕ при повторному механічному навантаженні на вигин	показання приладу «норма»	—	показання приладу «дефект»
Контроль засобами ІЧТ	для багатоелементних конструкцій: надлишкова температура всієї ΔT^* поверхні ізолятора; приведена надлишкова температура ΔT прифланцевих частин; приведена надлишкова температура ΔT центральної частини;	$\Delta T < 0,3$ °С	$0,3$ °С $\leq \Delta T < 2$ °С	$\Delta T \geq 2$ °С
	для одноелементних конструкцій: надлишкова температура ΔT в місці верхнього небезпечного перерізу; надлишкова температура ΔT інших частин;	$\Delta T < 0,3$ °С	$0,3$ °С $\leq \Delta T < 2$ °С	$\Delta T \geq 2$ °С
		$\Delta T < 0,3$ °С	$0,3$ °С $\leq \Delta T < 1$ °С	$\Delta T \geq 1$ °С
	надлишкова температура ΔT армування (фланців).	$\Delta T < 0,3$ °С	$0,3$ °С $\leq \Delta T < 3$ °С	$\Delta T \geq 3$ °С

Схема проведення комплексного контролю ОСІ для роз'єднувачів 110 кВ на основі оптимального дерева рішень показана на рисунку. Для багатоелементних конструкцій схема буде аналогічною.

ною за винятком АЕ-контролю, який для ізоляторів у складі таких конструкцій не використовується.

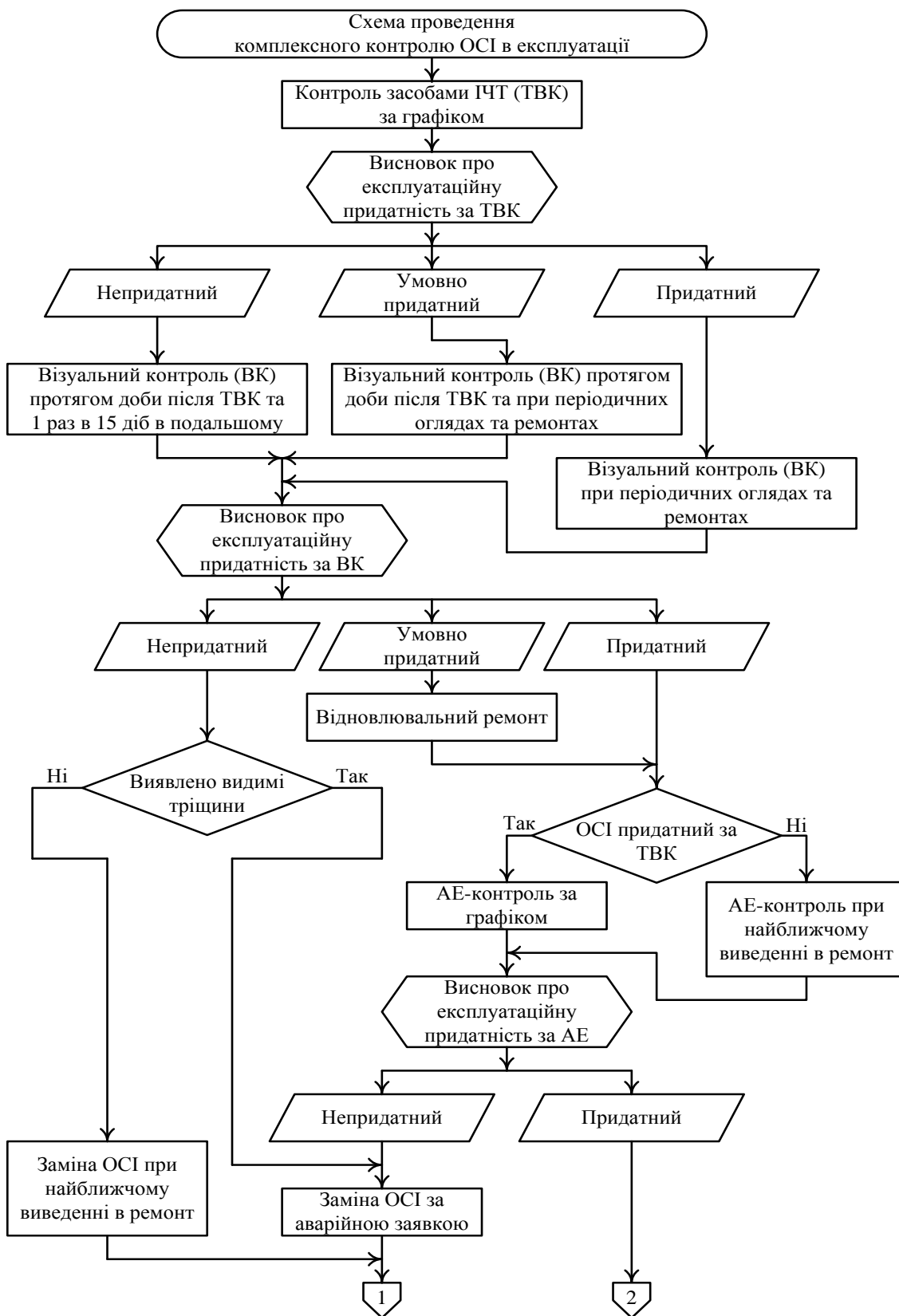
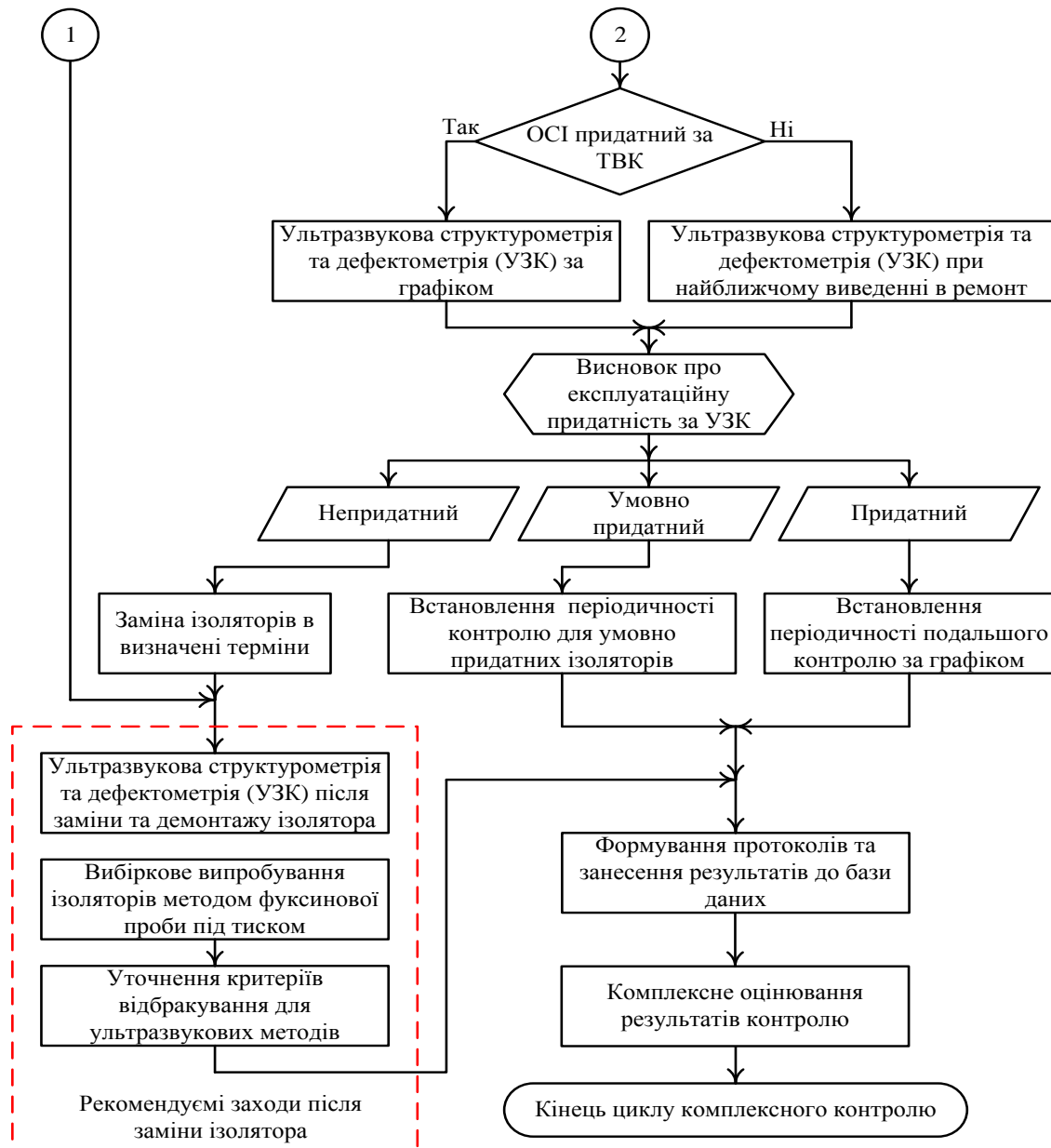


Схема комплексного контролю ОСІ в складі роз'єднувачів 110 кВ



Продовження рисунку

В кожному конкретному випадку відмов ОСІ економічні втрати будуть суттєво відрізнятися в залежності від наслідків пошкодження:

— пошкодження високовольтних вимикачів внаслідок механічного руйнування ОСІ в складі їх конструкцій;

— пошкодження інших ОСІ, внаслідок механічного впливу на ошикування при падінні полюсів роз'єднувачів або шинних опор;

— пошкодження основного електрообладнання та його елементів внаслідок близьких КЗ при падінні ізоляторів;

— невідпуску електроенергії;

— нещасних випадків пов'язаних з падінням ізоляторів тощо.

Для оцінки економічної ефективності методу проведено оцінювання зменшення ймовірності відмови ізоляторів при використанні комплексного методу контролю в порівнянні з контролем, який вимагається діючими нормами. За припущення, що дефектні ізолятори спричиняють відмови з однаковою ймовірністю, математичне очікування кількості дефектних ізоляторів, які не виявляються при використанні комплексного методу та прогнозована кількість відмов в 6,7 разів менше

ніж за допомогою методів, які регламентуються діючими нормами.

Оцінити економічний ефект для варіанта пошкодження іншого обладнання можна за рівнянням

$$\Delta E = \sum_{i=1}^k C_i \cdot m_i (P_{\text{К.М.}} - P_{\text{ТР}}) P_{\text{аві}} - C_{\text{К.М.}} - C_{\text{оси}} N P_2, \quad (1)$$

де C_i — ціна i -го виду обладнання; m_i — математичне очікування кількості дефектних ОСІ, яке може призвести до пошкодження i -го виду обладнання; $P_{\text{К.М.}}$ — умовна ймовірність виявлення дефектного ізолятора за допомогою комплексного методу контролю; $P_{\text{ТР}}$ — умовна ймовірність виявлення дефектного ізолятора за допомогою «традиційних» методів; $P_{\text{аві}}$ — ймовірність пошкодження i -го виду обладнання внаслідок пошкодження ОСІ; $C_{\text{К.М.}}$ — вартість проведення контролю всіх ОСІ енергосистеми комплексним методом, $C_{\text{оси}}$ — середня вартість ізолятора, P_2 — ймовірність помилки 2-го роду, N — загальна кількість ОСІ в енергосистемі.

Математичне очікування ціни контролю ОСІ комплексним методом розраховується за формулою

$$C_{\text{К.М.}} = \frac{N_1 (C_{\text{ВК}} + C_{\text{УЗК}} + C_{\text{ТВК}} + C_{\text{АЕ}}) + N_2 (C_{\text{ВК}} + C_{\text{УЗК}} + C_{\text{ТВК}})}{N}, \quad (2)$$

де N_1 , N_2 , N — кількість ізоляторів у складі роз'єднувачів 110 кВ, у складі іншого обладнання та загальна кількість в системі відповідно.

До складу вимикачів входять 7,4 % від загальної кількості ізоляторів, до складу роз'єднувачів та шинних опор, які можуть викликати близьке коротке замикання біля автотрансформаторів — близько 0,1 %, до складу роз'єднувачів, які можуть викликати руйнування трансформаторів напруження та струму — близько 2 %, отже, такі відмови цілком ймовірні. Окрім того, строк служби більшої частини ізоляторів, які експлуатуються в енергосистемі, вичерпано та ймовірність збільшення відмов ОСІ постійно зростає.

Математичне очікування вартості комплексного контролю для ізолятора складає 15,1 грн., а для всіх ОСІ енергосистеми — 460 тис. грн. Середньорічний економічний ефект впровадження комплексного контролю складає 148 тис. грн., з терміном окупності — 3 роки.

Висновки

1. Вибрані діагностичні параметри комплексного методу контролю ОСІ в експлуатації та визначені їх граничні значення.
2. Розроблена система комплексного оцінювання технічного стану ОСІ з розподілом на групи експлуатаційної придатності.
3. Запропоновано методику оцінки економічної ефективності комплексного контролю ОСІ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лабзун М. П. Методи та засоби діагностування опорно-стрижневих ізоляторів : моног. / М. П. Лабзун, О. Є. Рубаненко, В. М. Кутін. — Вінниця: ВНТУ, 2009. — 272 с.
2. Контроль технічного стану опорно-стрижневих ізоляторів за допомогою ультразвукового (акустичного) методу та засобами інфрачервоної техніки. Норми їх дефекації: СОУ-Н ЕЕ 40.12-00100227-46:2011. — Офіц. Вид. — К. : ДП «НТУКЦ «АсЕлЕнерго» / М-во енергетики та вугільної промисловості України, ДП «Національна енергетична компанія «Укренерго», 2011. — 122 с. — (Нормативний документ Міненерговугілля України. Методичні вказівки).

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 10.10.11
Рекомендована до друку 11.11.11

Лабзун Михайло Петрович — інженер Південно-Західної електроенергетичної системи;
Кутін Василь Михайлович — професор кафедри електричних станцій та систем Вінницького національного технічного університету, Вінниця