

УДК 621.327

О.Ю. Єгорова, О.Ю. Мальцев

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

## АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ НАДІЙНОСТІ

Розглянуто сучасний стан електричних мереж різної напруги. Проаналізовано надійність роботи кожного елемента повітряної лінії електропередачі. Визначені причини пошкодження різних елементів ПЛЕП (опор, лінійної ізоляції, фундаментів опор, проводів, лінійних арматур, грозозахисних тросів). Запропоновано основні заходи щодо підвищення експлуатаційної надійності ПЛЕП.

**Ключові слова:** повітряні лінії, надійність роботи мереж, потік відмов мереж.

### Вступ

**Постановка проблеми та аналіз літератури.** Надійність роботи повітряних ліній обумовлена сукупністю ряду факторів. Виявити щирі причини відмов повітряних ліній намітити шляхи їхнього вдосконалювання можна тільки на підставі статистичних даних про пошкоджуваність елементів повітряних ліній [1]. Відмови є єдиним критерієм перевірки правильності практичних рішень і теоретичних передумов.

Аналіз виниклих проблем з передачею електроенергії в Україні показує, що наявні останнім

часом масові ушкодження повітряних ліній (ПЛ) викликані у визначальній мірі старінням основних фондів.

Україна володіє розгалуженою мережею ліній електропередачі, які в часи СРСР забезпечували не тільки внутрішні потреби країни, але й служили сполучною ланкою з державами-імпортерами радянської енергії. Розмір і технічний стан електроенергетичного господарства України відображено в табл. 1. На території України сформовані магістральні електричні мережі з використанням систем напруг 220 – 330 – 400(500) – 750 кВ.

Таблиця 1

Загальна довжина й технічний стан ліній електропередачі України

Повітряні			Кабельні		
Тип лінії	Усього	У т.ч. підлягає відновленню	Тип лінії	Усього	У т.ч. працюють більше 30 років
0,4 кВ міського призначення	111012	11497	500 У и нижче	25820	10755
0,4 кВ с/г призначення	361121	54056	3 кВ	7	6
6-20 кВ міського призначення	22437	1077	6 кВ	17109	5059
6-20 кВ с/г призначення	310537	10241	10 кВ	21483	2852
35 кВ	63218	2141	35 кВ	402	56
110 кВ	31629	1414	110 кВ	45	–
154 кВ	7685	415			
Магістральні (220-800 кВ)	40357	...			
<b>РАЗОМ</b>	<b>947996</b>		<b>РАЗОМ</b>	<b>64866</b>	

будівництво мереж напругою 220 кВ в Україні почалося в 60-і рр. минулого сторіччя, в основному, для видачі потужностей ТЕС (Луганської, Старобешевської, Добротворської) і формування системостворюючих зв'язків у Донбаському, Західному й Кримському регіонах енергетичної системи України. Найбільш інтенсивне спорудження мереж 220 кВ здійснювалося в 1960 – 1970 рр.

У цей час мережі 220 кВ виконують розподільні функції, і зона їхньої дії локалізована районами Східного Донбасу й Західної України.

Основними системостворюючими мережами в енергосистемі є мережі 330 кВ, формування яких почалося в 70-і рр. у районах Східної й Південної України, де в той період вводилися енергоблоки на потужних і надпотужних електростанціях (Слов'ян-

ської, Вуглегірської, Запорізької, Криворізької ТЕС). Найбільший обсяг спорудження мереж напругою 330 кВ доводиться на період 1970 – 1980 рр. Більшість ПС 330 кВ пов'язані із системою не менш чим трьома лініями цієї напруги, і в цілому мережа 330 кВ має складно замкнену конфігурацію.

У той же період здійснювалося спорудження мереж 400 – 500 кВ, що одержали в енергетичній системі України обмежене поширення в Західному регіоні – на зв'язках з енергетичними системами (ЕС) країн Східної Європи (400 кВ) і в прикордонні з ОЕС Північного Кавказу (Росія) районах Донбаського регіону (500 кВ).

У середині 70-х рр. почалося будівництво ліній електропередачі й ПС напругою 750 кВ. До 1990 р. кожні п'ять років в енергосистемі вводилося близько 1000 км ПЛ і до п'яти автотрансформаторів цього класу напруги. У цей час на території України сформована центральна широтна магістраль 750 кВ (з'єднуюча ПС 750/330 кВ Донбаська, Запорізькими, Дніпровськими, Вінницькими й Західноукраїнська) з поперечними зв'язками, що забезпечують приєднання до цієї магістралі потужних джерел, що генерують, – Запорізького, Південноукраїнської й Хмельницької АЕС, а також Чорнобильського вузла 750 кВ. Мережі 750 кВ, поряд з мережами 330 кВ, є системостворюючими мережами.

На більшій частині території енергетичної системи України широке поширення одержали мережі напругою 110 кВ. У Південному й Дніпровському регіонах, а також у прикордонні із Дніпровським регіоном районах Полтавської області – мережі 150 кВ. На напругах 110 – 150 кВ сформована складно-замкнена мережа, що складається із численних кілець, зв'язаних між собою окремими перемичками. Ця мережа є основною розподільною мережею енергетичної системи.

До початку 2001 р. сумарна довжина ліній електропередачі напругою 110 і 150 кВ склала більше 50 тис. км, а потужність ПС - більше 57 тис. МВ\*А (усього близько 1400 підстанцій).

Виходячи з нормативних строків експлуатації (25 років), на 01.01.2001 р. кількість ПС, що виробили ресурс (без обліку окремих елементів модернізації), склало 60% (79 одиниць), а до 2010 р. їхня чисельність збільшиться до 90%.

Найбільше "застарілого" устаткування в мережах 220 і 330 кВ, де потребує заміни 334 одиниці устаткування на 24 ПС 220 кВ і більше 2000 одиниць устаткування на 51 ПС 330 кВ. У мережах 750 кВ наближається до нормативного строк експлуатації основного встаткування ПС Вінницька й Дніпровська.

Наведена ситуація ускладнюється тим, що ряд ПС, хоч і не вичерпали ресурс, мають «вузькі» місця, які визначаються, насамперед, наявністю дефек-

тного встаткування, що характеризується станом підвищеної аварійності. За даними експлуатуючих організацій близько 60 одиниць устаткування 750 кВ перебуває в передаварійному стані.

Більша частина магістральних ліній електропередачі була побудована до середини 60-х рр. минулого сторіччя, і термін служби їхніх конструктивних елементів (метал, залізобетон, лінійні арматури, ізоляція й т.д.) вичерпаний. Значні обсяги ВЛ вимагають термінової реконструкції:

ПЛ 330 кВ – 2353 км (18 % від сумарної довжини ліній цього класу);

ПЛ 220 кВ – 2300 км (53 %).

Масове старіння електромережних об'єктів (Таблиця 2) і встаткування привело до значного збільшення витрат на підтримку працездатності ВЛ і ПС, підвищеному використанню техніки, конструкцій, матеріалів при обслуговуванні, збільшенню чисельності обслуговуючого персоналу для проведення планових і позапланових оглядів, що течуть і аварійних ремонтів [2].

Таблиця 2  
Параметри потоку відмов ПЛ

Елемент мережі	$\Omega$ , відмова/рік при напрузі кВ					
	750	500	330	220	110	35
ПЛ одноланцюгові	0,6	0,6	1,3	1,7	3,9	2
Двох ланцюгові (відмова одного ланцюга)	–	–	3,8	2	3,9	1,6
Двох ланцюгові (відмова двох ланцюгів)	–	–	0,4	0,4	0,9	0,4

Аналізуючи технічний стан електромережевого господарства, не можна не відзначити й той факт, що в останні роки через відсутність фінансування, запасних частин, матеріалів знизився рівень профілактичних і планових ремонтів, а тому реальна кількість джерел можливих аварійних ситуацій значно більше, ніж це визначається тільки старінням мереж. Аналіз відмов елементів ПЛ показує, що опори є досить надійним елементом ліній електропередачі. Значне число відмов ПЛ є наслідком ушкодження проводів, ізоляторів, і відключення від грозових перенапруг. Тільки 9-13% випадків відмов пов'язане з ушкодженням елементів опор. Однак руйнування опор мають найбільш важкі наслідки для ліній електропередачі й приводять до більших витрат, пов'язаних з відновленням ПЛ і невідпуском електроенергії.

## Основний матеріал

**Надійність опор і фундаментів ПЛ.** Аналіз причин відмов ПЛ, проведений Донбаською Академією Будівництва й Архітектури й інших дослідни-

цьких установ показують, що інтенсивність відмов залежить від строку їхньої служби.

З 2000 року потік відмов почав стабілізуватися, тому що із цього часу оживився процес ремонту й реконструкції ПЛ. Параметр потоку відмов на початок 2000 р. від надрозрахункових навантажень становить:

для залізобетонних опор з терміном служби 50 – 60 років – 0,0105;

для металевих опор з терміном служби 30 – 35 років – 0,0129;

для дерев'яних опор з терміном служби 10 – 15 років – 0,11.

Актуальність і необхідність технічного переозброєння ПЛ продиктовано фізичним і моральним зношуванням електричних мереж, необхідністю підвищення їхньої пропускної здатності.

Моральне зношування викликане технічним старінням у результаті науково-технічного прогресу, а фізичне зношування – відпрацюванням ПЛ строку експлуатації. Проблеми морального зношування вирішуються технічним переозброєнням, а фізичного – реконструкцією й капітальним ремонтом.

Одним з напрямків розвитку електричних мереж є застосування нових конструкцій і матеріалів, що дозволяють довести термін служби знову споруджуваних і реконструйованих ліній до 70 і більше років.

**Надійність проводів, грозозахисних тросів ПЛ.** Загальна економічна криза істотно сповільнила розвиток електричних мереж. Починаючи з 1991 р. відзначається стійка тенденція скорочення обсягів введення нових ліній і трансформаторної потужності. Якщо в період з 1986 по 1990 р. було побудовано близько 2500 км ВЛ напругою 220 кВ і вище (при середньорічних темпах уведення 500 км), у період з 1991 по 1995 рр. – близько 500 км (120 км у рік), то за період 1996 – 2000 рр. були уведені тільки дві лінії (330 кВ Західнокримська – Сімферополь і 750 кВ Південнодонбаська – Донбаська) сумарною довжиною 290 км.

Скорочення мережного будівництва в останні роки викликано рядом об'єктивних причин, у тому числі:

– значним спадом електроспоживання (в 2000 р. – більш ніж на 35% у порівнянні з 1991 р.);

– відмовою від спорудження нових енергоємних підприємств, електропостачання яких було намічено по мережах 220 – 330 кВ;

– обмеженням уведень нових потужностей, що генерують. Розподіл відмов по елементах ПЛ та технологічні порушення на ПЛ, пов'язані з виходом проводів і грозозахисних тросів становить від 40% до 55% від загальної кількості всіх порушень.

Основні причини пошкодження проводів і гро-

зозахисних тросів - перевищення ожеледевих навантажень, зношування від дії вібрації, «танці» й корозії. Відмови, пов'язані із втратою несучої здатності проводів носять зносовий характер і збільшуються приблизно на 3 – 5% у рік.

Ці порушення збільшилися з 1955 р. в 2,8 рази. Виключення становлять 70 – 80 роки, коли кількість відмов трохи знизилася, через нові лінії, що вводять в експлуатацію, на які зносовий фактор проводів не встиг позначитися. Застосування в розрахунках підвищеного середньоексплуатаційних тяжінь в провадах (30% від розривного зусилля в проведенні замість 25% використовуваної в закордонній практиці), а також використання проводів і грозозахисних тросів з підвищеною несучою здатністю зажадало проектування посиленого вібраційного захисту із застосуванням гасителів вібрації нового покоління й протекторів, установлюваних на провадах у місцях підвіски.

**Надійність арматур ПЛ.** Основною причиною порушення працездатності арматури, є дефекти виготовлення, монтажу, ремонту й становлять 50% від загального числа ушкоджень. Друге місце із причин ушкодження лінійних арматур займають знакозмінні навантаження – 33,4%. З першою причиною, що приводить до порушення працездатності лінійних арматур, необхідно боротися шляхом підвищення контролю при її виготовленні, монтажі й експлуатації.

На ПЛ із підвищеною вібрацією відбувається руйнування гасителів вібрації: прогини тросиків, скидання вантажів, відхід гасителів у проліт і т.д.

«Танець» є одним з найнебезпечніших різновидів коливань для арматур.

Аналіз випадків «танцю» проводів на ПЛ 35-750 кВ показує, що до 90% випадків «танцю» приводить до порушення режиму роботи ПЛ або до ушкодження їхніх елементів, причому тільки в 30% випадків порушення обмежуються короткочасними відключеннями, а в інших випадках перебої в роботі лінії тривають від декількох годин до декількох діб.

**Надійність ізоляторів ПЛ.** Пошкоджуваність ізоляції на ПЛ становить 23 – 31% від загальної кількості порушень. Основними причинами ушкодження ізоляції є атмосферні перенапруги, які становлять близько 60% від всіх відмов, пов'язаних з перенапругою ізоляції. Починаючи з 1969 р. пошкоджуваність ізоляції не міняється, що досягнуто за рахунок технічного переозброєння при переході на скляні ізолятори, а так само застосування сучасного захисту від знакозмінних навантажень. Однак рівень ушкодження ізоляторів високий і викликаний відсутністю в гірлянді ізоляторів захисної арматур по розподілі напруг, відсутністю захисту по внутрішньою й грозовою перенапругами низькою якістю ізоляторів.

## Висновки

1. Основною причиною, що викликає різке збільшення пошкоджуваності високовольтних ліній, є старіння матеріалу конструкції опор, проводів, арматур і ізоляторів. Лінії електропередачі піддаються старінню й зношуванню від корозії й знакозмінних навантажень, при цьому кількість відмов збільшується від 3-х до 5% у рік.

2. По кількості відмов на першому місці стоять проводи (52% з урахуванням грозових перенапруг і 37% без їхнього обліку), на другому місці ізолятори (відповідно 31% і 23%), на третьому місці опори (13% і 9%), на четвертому – арматури (4% і 3%). Грозові перенапруги становлять 28%.

3. По вазі відмов, що приводять до серйозних наслідків для ліній електропередачі (більші витрати на відновлення й недовідпуску електроенергії) на першому місці стоять опори, потім провода, арматури, ізоляція.

4. Для підвищення експлуатаційної надійності ПЛ необхідно:

4.1. На стадії проектування повітряних ліній:

– використовувати прогресивні технічні рішення й сучасні технології й матеріали, що підвищують надійність і довговічність ліній електропередачі;

– розробити нові конструкції опор на базі багатограних стійок, що дозволяють споруджувати нові лінії з більшим строком експлуатації, проводити технічне переозброєння й реконструкцію у всіх кліматичних районах з необхідним рівнем надійності, швидко відновлювати опори після аварій, що не дозволяє проведення актів вандалізму;

– приділити основна увага застосуванню гарячого цинкування при спорудженні нових ліній і комбінованих покриттів при реконструкції й ремонті;

– використати ефективні засоби захисту від кліматичних впливів (багаточастотні гасителі вібрації, гасителі «танцю» й обмежники ожеледю);

4.2. При експлуатації повітряних ліній.:

– підвищити рівень діагностики, тому що існуюча система діагностики стану ВЛ неефективна, що зв'язано як відсутністю на об'єктах електричних мереж технічних засобів у необхідному обсязі, так і недостатністю методичної бази по всьому спектрі можливих систем діагностики;

– проводити інструментальне обстеження елементів ліній електропередачі ПЛ, експлуатованих більше 30 років з метою визначення обсягів реконструкції або ремонту;

– уважати обов'язковим відновлення захисних покриттів при корозійних втратах;

– проводити вчасно ремонт елементів повітряних ліній.

4.3. Наступні:

– при ремонті й реконструкції повітряних ліній застосовувати сучасні технології й матеріали;

– урахувувати зміни умов експлуатації;

– використати спеціальні механізми й засоби малої механізації, що дозволяють підвищити продуктивність праці й рівень техніки безпеки.

## Список літератури

1. Яковлев Л.В. Комплекс работ и предложений по повышению надежности ВЛ на стадии проектирования и эксплуатации / Л.В. Яковлев, Р.С. Каверина, Л.А. Дубинич // Третья Российская с международным участием научно-практическая конференция. Сб. трудов. – Новосибирск, 2008. – С. 28-49

2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://forca.ru/info/spravka/parametry-potoka-otkazov-elementov-elektricheskoi-seti.html>.

Надійшла до редколегії 28.04.2010

Рецензент: канд. техн. наук, доцент І.В. Пантелєєва, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ИХ НАДЕЖНОСТИ

О.Ю. Егорова, А.Ю. Мальцев

*Изучено современное состояние электрических сетей разного напряжения. Проанализирована надежность работы каждого элемента воздушной линии электропередачи. Определены причины повреждения разных элементов ВЛЭП (опор, линейной изоляции, фундаментов опор, проводов, линейных арматур, грозозащитных тросов). Предложены основные мероприятия по повышению эксплуатационной надежности ВЛЭП.*

**Ключевые слова:** воздушные линии, надежность работы сетей, поток отказов сетей

## THE ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF AIR-LINES AND DEFINITION OF WAYS OF INCREASE OF THEIR RELIABILITY

O.Yu. Egorova, O. Yu. Malcev

*The current state of electric networks of different pressure is studied. Reliability of work of each element of an air-line of an electricity transmission is analysed. The certain reasons of damage of different elements of air-lines (support, linear isolation, the bases of support, wires, linear armatures, lightning-protective cables). The basic actions for increase of operational reliability of air-lines are offered.*

**Keywords:** air-lines, reliability of work of networks, a stream of refusals of networks Keywords: energy savings, bulb lamps, luminescent lamps, light-emitting diodes.