



Діхтярук І. В.

## ВПЛИВ СЕКЦІОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 6–10 кВ АВТОМАТИЧНИМИ РОЗ'ЄДНУВАЧАМИ НА ІНТЕГРАЛЬНІ ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ

*Досліджено вплив секціонування розподільних мереж напругою 6–10 кВ за допомогою автоматичних роз'єднувачів на інтегральні показники надійності, що відповідають європейським вимогам та міжнародним стандартам. Встановлено, що автоматичне секціонування покращує показники надійності, а саме, в залежності від конфігурації мережі та наявності резерву, секціонування дозволяє досягти поліпшення показників надійності на величину до 70 %.*

**Ключові слова:** автоматичні роз'єднувачі, секціонування, показники надійності.

### 1. Вступ

Одним з ефективних засобів підвищення надійності електропостачання споживачів в розподільних електричних мережах напругою 6–10 кВ є їх секціонування за допомогою комутаційних апаратів (КА). В 70-80-х роках ХХ століття в якості секціонуючих КА почали використовувати роз'єднувачі, які дозволяли виділяти діями оперативно-виїзної бригади (ОВБ) пошкоджену ділянку електричної мережі [1].

Запропонований в роботах [2–4] метод секціонування розподільної електричної мережі за допомогою автоматичних роз'єднувачів полягає у виділенні окремих ділянок електричної мережі під час безструмової паузи (по аналогії з роботою відокремлювачів в мережах напругою 35–110 кВ). Причому виділення ділянок повинно починатися після другого циклу автоматичного повторного включення (АПВ).

Зважаючи на сучасні темпи розвитку енергетики, а також необхідність модернізації розподільних мереж напругою 6–10 кВ постає питання дослідження впливу такого секціонування на показники надійності електропостачання споживачів. Цю проблему розглянуто в даній роботі.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

При аналізі надійності ПЛ 6-20 кВ доцільно розглянути три групи показників: вихідні (первинні), базові та інтегральні [5].

До вихідних показників відносять кількість відмов у рік на одиницю устаткування та тривалість одного відключення об'єкта електропостачання із-за відмови відповідного елемента. Джерелом таких показників надійності є статистичні дані, що отримують в процесі моніторингу роботи мережі, під час оцінки технічного стану, в окремих випадках експертні оцінки тощо [6].

Базові показники відображають надійність електропостачання вузлів навантаження і споживачів, що жив-

ляться від них. Величини базових показників (середня частота відключень об'єкта і середня тривалість одного відключення об'єкта), які обчислюються в ході розв'язання задачі аналізу надійності, залежать від значень вихідних показників надійності, топології і параметрів лінії, що розглядається, місць розміщення, конкретного виду і кількості засобів підвищення надійності, що встановлюються в лінії [6]. При цьому для розподільних мереж окремо фіксуються стійкі та нестійкі відключення, а також такі складові їх тривалості [5]:

- тривалість очікування;
- тривалість пошуку та локалізації пошкодженого фрагмента лінії (при наявності такої можливості і в разі доцільності даної дії);
- тривалість включення резервного живлення (при наявності такої можливості);
- тривалість виконання ремонту пошкодженого елемента і включення його в роботу.

Інтегральні показники характеризують надійність електропостачання споживачів великих мережевих об'єктів, що живляться від окремої лінії, так і від системи електропостачання в цілому [7]. Кількісні значення інтегральних показників визначаються на основі базових показників надійності та характеристик вузлів навантаження — середньої величини навантаження і кількості споживачів, що отримують живлення (юридичних і фізичних осіб).

Відповідно до постанови НКРЕ України [8–11] надійність електропостачання споживача характеризується інтегральними показниками надійності, що відповідають європейським вимогам та міжнародним стандартам. До них відносять:

- а) індекс середньої тривалості довгих перерв в електропостачанні в системі (далі SAIDI) розраховується за формулою (1) як відношення сумарної тривалості відключень точок продажу електричної енергії внаслідок усіх довгих перерв в електропостачанні за звітний період до загальної кількості точок продажу електричної енергії:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^k t_i \times n_i}{n}, \quad (1)$$

де  $t_i$  — тривалість  $i$ -ї довгої перерви в електропостачанні, хв.;  $n_i$  — кількість точок продажу електричної енергії, відключених у результаті  $i$ -ї довгої перерви в електропостачанні, шт.;  $k$  — кількість довгих перерв в електропостачанні протягом звітного періоду;  $i$  — номер довгої перерви в електропостачанні,  $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ;  $n$  — загальна кількість точок продажу електричної енергії, шт.;

б) індекс середньої частоти довгих перерв в електропостачанні в системі (далі — SAIFI) розраховується, як відношення сумарної кількості відключених точок продажу електричної енергії внаслідок усіх довгих перерв в електропостачанні протягом звітного періоду до загальної кількості точок продажу електричної енергії, за формулою:

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{n}; \quad (2)$$

в) індекс середньої частоти коротких перерв в електропостачанні в системі (далі MAIFI) розраховується, як відношення сумарної кількості відключених точок продажу електричної енергії внаслідок усіх коротких перерв в електропостачанні протягом звітного періоду до загальної кількості точок продажу електричної енергії, за формулою:

$$AIFI = \frac{\sum_{j=1}^r n_j}{n}, \quad (3)$$

де  $n_j$  — кількість точок продажу електричної енергії, відключених у результаті  $j$ -ї короткої перерви в електропостачанні, шт.;  $r$  — кількість коротких перерв в електропостачанні протягом звітного періоду;  $j$  — номер короткої перерви в електропостачанні,  $j = 1, 2, 3, \dots, r$ ;

г) розрахунковий обсяг недовідпущеної електроенергії (далі ENS) розраховується, як сума добутків кількості відключених точок продажу електричної енергії на тривалість довгої перерви та на середнє споживання електроенергії на відповідному рівні напруги, за формулою:

$$ENS = \sum_{i=1}^k \frac{n_i^z \times t_i \times Q^z}{43800}, \quad (4)$$

де  $z$  — ознака рівня напруги та відповідної території (0,4 кВ — міський населений пункт, 0,4 кВ — сільський населений пункт, 6–20 кВ — міський населений пункт, 6–20 кВ — сільський населений пункт, 27,5–35 кВ, 110/154 кВ);  $i$  — номер довгої перерви в електропостачанні,  $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ;  $n_i^z$  — кількість точок продажу електричної енергії, відключених внаслідок  $i$ -го довгого переривання з  $z$ -ю ознакою рівня напруги та відповідної території, шт.;  $t_i$  — тривалість  $i$ -ї довгої перерви в електропостачанні, хв.;  $Q^z$  — середньомісячне споживання електричної енергії в попередньому році на одну точку продажу електричної енергії з  $z$ -ю ознакою рівня напруги та відповідної території, тис. кВт·год; 43800 — звітний період часу (середньомісячний за рік), у хвиликах.

Використання даної системи індексів не є цілком прийнятною, оскільки при розрахунку індексів враховується ряд чинників, а саме [11]:

- необхідний споживачеві рівень надійності електропостачання;
- величина заявленої або середньої за період споживаної потужності;
- величина потужності, що відключається;
- вид припинення постачання електричної енергії, ступінь раптовості;
- роль мережевої організації у припиненні поставки електроенергії.

### 3. Об'єкт, ціль та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — інтегральні показники надійності SAIDI, SAIFI та ENS в розподільних електричних мережах напругою 6–10 кВ. Метою даної роботи є дослідження впливу секціонування нерезерованих розподільних мереж, мереж з ручним та автоматичним резервом напругою 6–10 кВ за допомогою автоматичних роз'єднувачів на інтегральні показники надійності.

Для досягнення поставленої мети в статті необхідно розглянути такі основні завдання:

- дослідити вплив секціонування розподільних мереж напругою 6–10 кВ за допомогою автоматичних роз'єднувачів на інтегральні показники надійності SAIDI SAIFI та ENS;
- отримати залежності для визначення прогнозованих інтегральних показників надійності SAIDI, SAIFI та ENS при секціонуванні автоматичними роз'єднувачами нерезерованих розподільних мереж, мереж з ручним та автоматичним включенням резерву;
- визначити прогнозовану зміну інтегральних показників надійності SAIDI SAIFI та ENS для типових моделей ЛЕП [1] з різними видами резервування, при секціонуванні магістралі одним та двома автоматичними секціонуючими роз'єднувачами.

### 4. Матеріали та методи дослідження впливу автоматичного секціонування на показники надійності SAIDI SAIFI та ENS

При визначенні інтегральних показників надійності для нерезерованої розподільної електричної мережі без секціонуючих КА, яка має  $n$  точок продажу електричної енергії, сумарну довжину та потужність мережі ( $L_\Sigma$ ,  $P_\Sigma$  відповідно) було прийнято, що:

- тривалість  $i$ -ї довгої перерви в електропостачанні дорівнює середній тривалості ремонту при стійких пошкодженнях;
- стійкими пошкодженнями вважаються пошкодження, що не самоусунулись після другого циклу АПВ та ручного повторного включення (РПВ);
- кількість довгих перерв в електропостачанні протягом звітного періоду (1 рік) може бути визначена як добуток питомої частоти пошкоджень лінії  $\omega_0$  на сумарну довжину мережі  $L_\Sigma$ , тобто:

$$k = \omega_0 \cdot L_\Sigma. \quad (5)$$

Прийняті допущення дозволяють отримати формули для розрахунку прогнозованих значень показників надійності SAIDI, SAIFI та ENS. Враховуючи вище-

зазначене отримано формулу для розрахунку індексу середньої тривалості довгих перерв в електропостачанні в мережі (SAIDI):

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{\omega_0 \cdot L_{\Sigma}} \tau_i \cdot n_i}{n}. \quad (6)$$

Оскільки в мережі без секціонуючих КА при стійкому пошкодженні будуть відключені всі споживачі, то формулу (6) можна спростити до наступного виду:

$$SAIDI = \frac{\omega_0 \cdot L_{\Sigma} \cdot \tau \cdot n}{n} = \omega_0 \cdot L_{\Sigma} \cdot \tau. \quad (7)$$

Знаючи сумарну довжину мережі за допомогою формули (7) можна розрахувати прогнозовану величину SAIDI для мережі без секціонуючих КА.

Формула для розрахунку індексу середньої частоти довгих перерв в електропостачанні в системі (SAIFI) відрізняється від SAIDI лише чисельником (формула (1)). Враховуючи прийняті допущення отримаємо перетворену формулу для визначення прогнозованого SAIFI:

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{\omega_0 \cdot L_{\Sigma}} n_i}{n}. \quad (8)$$

Спростивши отримаємо:

$$SAIFI = \frac{\omega_0 \cdot L_{\Sigma} \cdot n}{n} = \omega_0 \cdot L_{\Sigma}. \quad (9)$$

Аналогічно до SAIDI та SAIFI перетворимо формулу для визначення розрахункового обсягу недовідпущеної електроенергії (ENS):

$$ENS = \sum_{i=1}^{\omega_0 \cdot L_{\Sigma}} \frac{n_i \cdot P_i \cdot \tau}{t} = \frac{\omega_0 \cdot L_{\Sigma} \cdot \tau \cdot P_{\Sigma}}{t}, \quad (10)$$

де  $t$  – період часу, що розглядається.

## 5. Результати дослідження впливу автоматичного секціонування типових моделей ЛЕП

Для всіх типових моделей ЛЕП методом прямого перебору за значенням найменшого недовідпуску електричної енергії було визначено раціональні місця встановлення автоматичних секціонуючих роз'єднувачів [12]. Відповідно до прийнятих раніше припущень для кожної моделі ЛЕП було визначено прогнозовані показники надійності SAIDI, SAIFI та ENS (рис. 1–3).

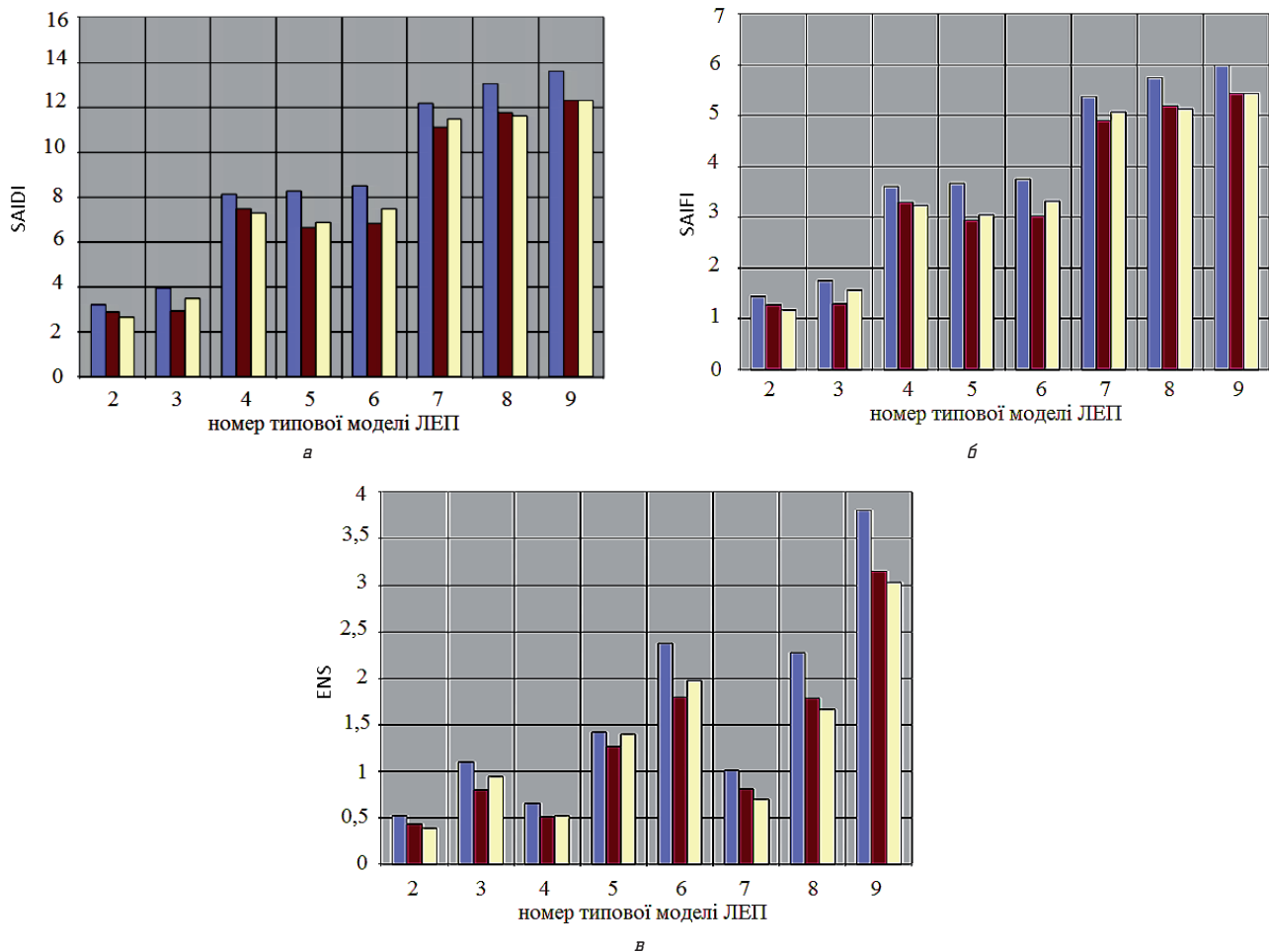


Рис. 1. Результати розрахунків інтегральних показників надійності для типових моделей ЛЕП без резерву при встановленні одного та двох автоматичних роз'єднувачів на магістралі: а — SAIDI; б — SAIFI; в — ENS; ■ — без КА; ■ — 1LP; □ — 2LP

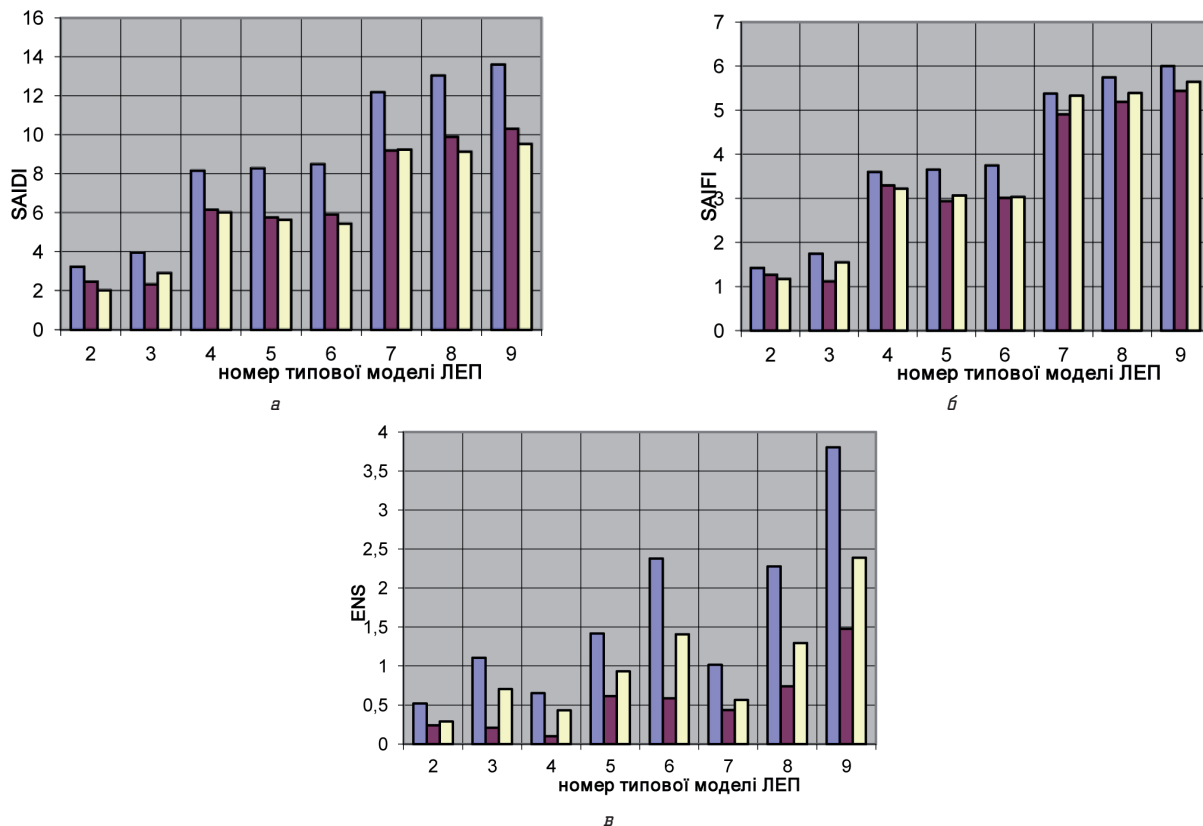


Рис. 2. Результати розрахунків інтегральних показників надійності для типових моделей ЛЕП з ручним включенням резерву при встановленні одного та двох автоматичних роз'єднувачів на магістралі: а — SAIDI; б — SAIFI; в — ENS; ■ — без КА; ■ — 1ЛР; □ — 2ЛР

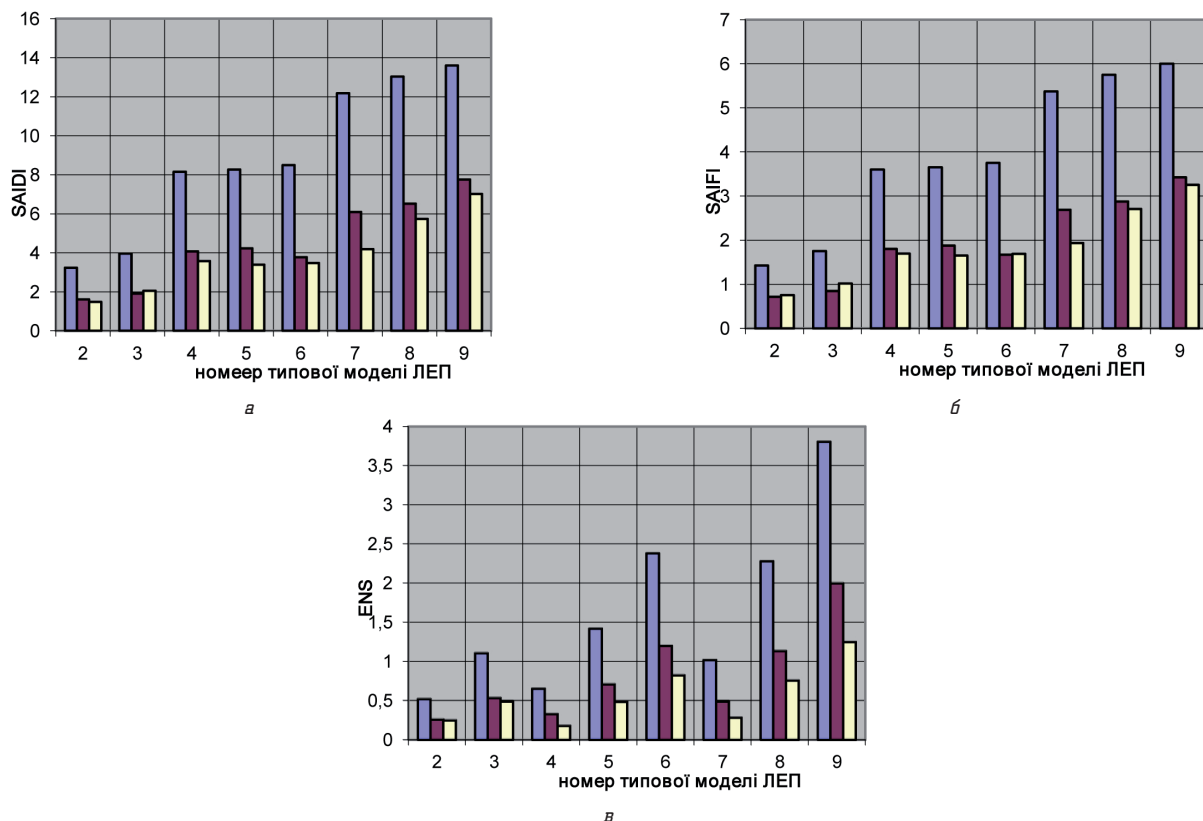


Рис. 3. Результати розрахунків інтегральних показників надійності для типових моделей ЛЕП з автоматичним включенням резерву при встановленні одного та двох автоматичних роз'єднувачів на магістралі: а — SAIDI; б — SAIFI; в — ENS; ■ — без КА; ■ — 1ЛР; □ — 2ЛР

## 6. Обговорення результатів дослідження впливу секціонування автоматичними роз'єднувачами розподільних мереж напругою 6–10 кВ

В даній роботі було отримано формули, які дозволяють розраховувати прогнозовані значення показників надійності SAIDI, SAIFI та ENS. Для визначення впливу автоматичного секціонування було розраховано SAIDI, SAIFI та ENS для типових моделей ЛЕП при встановленні одного та двох автоматичних роз'єднувачів. Розрахунками встановлено, що при секціонуванні автоматичними роз'єднувачами нерезервованих розподільних мереж дані показники зменшуються на величину до 30 %, а в мережах з ручним та автоматичним резервуванням — до 80 % в порівнянні з аналогічними мережами без секціонуючих комутаційних апаратів.

Проведеним дослідженням встановлено, що секціонування за допомогою автоматичних роз'єднувачів поліпшує інтегральні показники надійності. Данні результати можна використовувати для розрахунку величини прогнозованих значень показників надійності SAIDI, SAIFI та ENS під час проектування нових та реконструкції існуючих розподільних мереж. Данна робота є продовженням досліджень, результати яких приведено в роботах [2–4].

## 7. Висновки

В результаті проведених досліджень:

1. Отримано формули, які дозволяють визначити прогнозовані інтегральні показники надійності SAIDI, SAIFI та ENS при секціонуванні автоматичними роз'єднувачами нерезервованих розподільних мереж, мереж з ручним та автоматичним включенням резерву.

Для підтвердження прийнятих припущень були розраховані прогнозовані значення SAIDI, SAIFI та ENS для типових моделей ЛЕП при встановленні одного та двох автоматичних роз'єднувачів на магістралі ЛЕП.

2. Отримані результати вказують на зниження показників SAIDI, SAIFI та ENS при автоматичному секціонуванні, а саме:

- для нерезервованих мереж 10–30 %;
- для мереж з ручним резервом 10–80 %;
- для мереж з АВР 50–70 %.

3. Отримані результати вказують на ефективність використання секціонування розподільних мереж напругою 6–10 кВ за допомогою автоматичних роз'єднувачів для поліпшення інтегральних показників надійності, що відповідають європейським вимогам та міжнародним стандартам.

## Література

1. Прусс, В. Л. Повышение надежности сельских электрических сетей [Текст] / В. Л. Прусс, В. В. Тисленко. — Л.: Энергоатомиздат, 1989. — 209 с.
2. Буйний, Р. А. Застосування роз'єднувачів нового покоління у схемах автоматизованого секціонування розподільних мереж напругою 6–10 кВ [Текст] / Р. А. Буйний, І. В. Діхтярук, Ю. О. Каложний, А. О. Квицинський // Енергетика та електрифікація. — 2013. — № 4(55). — С. 34–40.
3. Буйний, Р. О. Застосування роз'єднувачів нового покоління у схемах автоматизованого секціонування розподільних мереж напругою 6–10 кВ [Текст] / Р. О. Буйний, І. В. Діхтярук, В. В. Зорін // Технічна електродинаміка. — 2014. — № 3. — С. 70–75.

4. Діхтярук, І. В. Використання роз'єднувачів нового покоління для секціонування розподільних електричних мереж з джерелами розподіленої генерації [Текст] / І. В. Діхтярук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2014. — № 1(112). — С. 58–61.
5. Попов, В. А. Вопросы оценки уровня надежности воздушных линий 6,10 кВ в энергосистемах Украины [Текст] / В. А. Попов, В. В. Ткаченко, Ю. Д. Манойло // Пром-електро. — 2010. — № 5. — С. 25–32.
6. Жаркин, А. Ф. Решение задачи оптимального секционирования воздушных распределительных сетей в условиях нормирования показателей надежности [Текст] / А. Ф. Жаркин, В. А. Попов, В. В. Ткаченко // Технічна електродинаміка. — 2013. — № 5. — С. 61–69.
7. IEEE Std 1366-2003. IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices [Text]. — IEEE Inc., USA, 14 May, 2004. — 50 p. doi:10.1109/IEEESTD.2004.94548
8. Про внесення змін до Закону України «Про електроенергетику» щодо забезпечення надійного (безперебійного) постачання електричної енергії споживачам та інвестування в інфраструктуру [Електронний ресурс]: Закон України від 05.07.2012 № 5066-VI // Сайт Верховної Ради України. — Режим доступу: \www/URL: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/5066-17
9. Про внесення змін до постанови НКРЕ від 17.02.2011 № 243 [Електронний ресурс]: Постанова НКРЕ України від 14.04.2011 № 605 // Сайт Верховної Ради України. — Режим доступу: \www/URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0551-11
10. Про затвердження цільових показників надійності електропостачання на 2012 рік [Електронний ресурс]: Постанова НКРЕ України від 29.12.2011 № 249 // Сайт Національної комісії регулювання електроенергетики України. — Режим доступу: \www/URL: http://www3.nerc.gov.ua/?id=2857
11. Сердюк, Б. М. Використання показників SAIDI, SAIFI для економічної оцінки надійності електропостачання промислових підприємств [Електронний ресурс] / Б. М. Сердюк, А. А. Ліщук // Ефективна економіка. — 2012. — № 2. — Режим доступу: \www/URL: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=957
12. Принципи побудови розподільної електричної мережі напругою 10 кВ із застосуванням новітньої комутаційної апаратури. Рекомендації [Текст]: звіт про НДР (закл.) / Чернігівський національний технологічний університет; рук. Р. О. Буйний, І. В. Діхтярук та ін. — № ДР 0113U004405. — К.: НТЦЕ НЕК «Укренерго», 2012. — 180 с.

## ВЛИЯНИЕ СЕКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6–10 кВ АВТОМАТИЧЕСКИМИ РАЗЪЕДИНИТЕЛЯМИ НА ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ

Исследовано влияние секционирования распределительных сетей напряжением 6–10 кВ при помощи автоматических разъединителей на интегральные показатели надежности, которые отвечают европейским требованиям и международным стандартам. Установлено, что автоматическое секционирование улучшает показатели надежности, а именно, в зависимости от конфигурации сети и наличия резерва, секционирование позволяет достичь улучшения показателей надежности на величину до 70 %.

**Ключевые слова:** автоматические разъединители, секционирование, показатели надежности.

*Діхтярук Ігор Віталійович, асистент, кафедра електричних систем та мереж, Чернігівський національний технологічний університет, Україна, e-mail: dihtyaruk\_igor@mail.ru.*

*Діхтярук Ігорь Віталієвич, асистент, кафедра електричних систем та мереж, Чернігівський національний технологічний університет, Україна.*

*Dikhtyaruk Ihor, Chernihiv National University of Technology, Ukraine, e-mail: dihtyaruk\_igor@mail.ru*