

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Кременчуцький державний політехнічний університет  
імені Михайла Остроградського**

# **ВІСНИК**

**Кременчуцького державного  
політехнічного університету  
імені Михайла Остроградського**

**№ 3/2009 (56)  
частина 1**

- Електромеханічні системи та автоматизація
- Електричні машини і апарати
- Енергетика та енергоресурсозбереження
- Діагностика в електромеханічних і енергетичних системах
- Інформаційні системи і моделювання
- Електронні апарати, комп'ютерна техніка і інформаційно-вимірювальні технології
- Нанотехнології та нові матеріали
- Нові технології в машинобудуванні
- Транспорт. Дорожні та будівельні машини
- Фізичні процеси гірничого виробництва
- Екологічна безпека
- Природничі науки
- Гуманітарні науки
- Економічні та маркетингові дослідження виробничо-підприємницької діяльності
- Проблеми вищої школи
- Ювілейні дати
- Короткі повідомлення (листи до редакції)

**Кременчук – 2009**

**Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету  
імені Михайла Остроградського. –  
Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 3/2009 (56) частини 1. – 190 с.**

**ISSN 1995–0519**

**ISSN 2072–8263**

Відповідно до постанови президії ВАК України від 09.06.1999 року № 1-05/7 збірник пройшов реєстрацію і внесений до Переліку № 1 фахових видань, в якому можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук.

Друкується за рішенням Вченої ради Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського (протокол ВР № 6 від 23.04.2009 р.).  
Свідоцтво про державну реєстрацію серії КВ № 12637–1521 ПР від 04.05.2007 р.

Збірник публікує статті, які містять нові теоретичні та практичні результати в галузях технічних, природничих та гуманітарних наук.

**Редакційна рада:**

Андрусенко О. М., д. т. н., проф.; Артамонов В. В., д. т. н., проф.; Воробйов В. В., д. т. н., проф.; Єлізаров О. І., д. ф. — м. н., проф.; Загірняк М. В., д. т. н., проф. (голова ради); Никифоров В. В., к. б. н., доц. (відповідальний секретар); Козловська Т. Ф., к. х. н. доц. (технічний редактор); Комір В. М., д. т. н., проф.; Луговой А. В., к. т. н., проф. (заступник голови); Маслов О. Г., д. т. н., проф.; Родькін Д. Й., д. т. н., проф.; Саленко О. Ф., д. т. н., проф.; Сінчук О. М., д. т. н. проф.; Сокур М. І., д. т. н., проф.; Солтус А. П., д. т. н., проф.; Хоменко М. М., д. е. н., проф.; Шмандій В. М., д. т. н., проф.; Юрко О. А., д. т. н., проф.

© Науково-дослідна частина, 2009 р.

**ISSN 1995–0519**

**ISSN 2072–8263**

---

Адреса редакції: 39600, Кременчук, вул. Першотравнева, 20. Кременчуцький державний політехнічний університет імені Михайла Остроградського. МОВ, к. 3210.  
Телефон: (05366) 3-62-17. E-mail: [nich@polytech.poltava.ua](mailto:nich@polytech.poltava.ua)

---

ААРМА-ЭМУЛЯТОРЫ ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ <i>Щекин В.П., Щекина О.В.</i>	127
ВИКОРИСТАННЯ КАНАЛІВ РАДІОЗВ'ЯЗКУ В СИСТЕМАХ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯМ <i>Оробчук Б.Я., Рафалюк О.О., Бабюк С.М.</i>	131
<b>ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ</b>	
ПРОБЛЕМИ З ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ РОБОТИ ОЕС УКРАЇНИ В УМОВАХ РЕФОРМУВАННЯ ЕНЕРГЕТИКИ <i>Кириленко О.В.</i>	135
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИХ УСТАНОВКАХ ТА ПРИСТРОЯХ З ЕЛЕКТРИЧНИМИ НАКОПИЧУВАЧАМИ ЕНЕРГІЇ <i>Бялобржеський О.В.</i>	141
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ <i>Алексеева Ю.А., Коренькова Т.В.</i>	146
РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ СИЛОВЫХ АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ НА ПОДСТАНЦИИ «ЛЕНИНГРАДСКАЯ» <i>Рассальский А.Н., Конограй С.П., Гук А.А., Сахно А.А., Спица А.Г.</i>	150
АНАЛІЗ ВПЛИВУ КОЕФІЦІЕНТА ЛІНІЙНОСТІ МАГНІТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА СТРУМ ВКЛЮЧЕННЯ ШУНТУЮЧОГО РЕАКТОРА <i>Попова Т.В.</i>	154
ОПТИМИЗАЦИЯ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕНЬ МІЖ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ З УРАХУВАННЯМ АНАЛІЗУ ЧУТЛИВОСТІ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ В ЕЕС <i>Лежнюк П. Д., Кулик В. В., Тетя В. В.</i>	158
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ АНАЛИЗ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ <i>Шевченко В.В., Омельченко Л.Н.</i>	161
INTERACTIVE ENERGY SAVING CONTROL OF WATER SUPPLY PUMP BASED ON PRESSURE MEASUREMENT <i>Kiselychnyk O., Bodson M., Werner H.</i>	166
ВРАХУВАННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ СИСТЕМ ПІД ЧАС ЇХ РЕКОНСТРУКЦІЇ <i>Лежнюк П. Д., Комар В. О., Лесько В. О., Поліщук А. Л.</i>	172
ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРИСТРОЇВ ВИЗНАЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНОГО ФІДЕРА В МЕРЕЖАХ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТІЙНОГО СТРУМУ <i>Кутін В.М., Рубаненко О.Є., Бандура І.О.</i>	176
МЕТОД КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ В ДВОПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ <i>Добровольська Л.Н., Романюк М.В.</i>	181
ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ В СИЛОВЫХ ЦЕПЯХ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ ДСП-12 ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ <i>Панкратов А.И., Афанасьева А.В.</i>	183
<i>Правила оформлення статей до збірника</i>	187
<i>Список авторів</i>	189

УДК 621.311.1.018.3

ВРАХУВАННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ СИСТЕМ ПІД ЧАС ЇХ РЕКОНСТРУКЦІЇ

Лежнюк П. Д., д.т.н., проф., Комар В.О., к.т.н., доц., Лесько В.О., асист.  
 Вінницький національний технічний університет  
 Подішук А. Л., заст. директора  
 Вінницькі міські електричні мережі  
 21021, м. Вінниця, вул. Воїнів-Інтернаціоналістів, 3, кв. 122  
 E-mail: kvo76@mail.ru

В статье предложено использовать критерий качества функционирования распределенных электрических сетей для оценки возможных вариантов питания потребителей во время их реконструкции.  
 Ключевые слова: распределенные сети, качество функционирования.

In the article the technique of determination of functioning quality criterion of distributive electric networks is offered. Proposed functioning quality criterion can be used for the variant of power supply appraisal under network reconstruction.

Keywords: distributive networks, functioning quality.

**Вступ.** Стан електроенергетики після тривалого періоду недостатнього інвестування характеризується серйозним зносом як генерувального, так і мережевого обладнання. Зокрема, в результаті експлуатації розподільних електричних мереж за останні 15 років, коли розвиток, відновлення та модернізація відстали від процесу фізичного старіння, а коефіцієнт дефектності розподільних електромереж України досяг 13 %, відносно надійне постачання електроенергією стало ненадійним і незадовільним щодо якості електроенергії [1]. Така ситуація ускладнюється тенденцією до переходу на електроопалення [2], що вимагає додаткових витрат на розвиток існуючих і будівництво нових розподільних електричних мереж.

Обмеженість фінансових ресурсів електропостачальних компаній не дозволяє відновити обладнання мережі у короткі терміни. Тому процес реконструкції та відновлення розбивається на етапи. Така етапність відновлювальних робіт призводить до тимчасового погіршення показників надійності електропостачання та якості електричної енергії, що суттєво впливає на режим роботи споживача. Для зменшення такого негативного впливу перекофігурації розподільної мережі, пов'язаної з відновлювальними роботами, необхідно визначити оптимальні варіанти живлення споживачів з множини можливих. Критерієм оптимальності може бути якість функціонування розподільної електричної мережі по відношенню до конкретного споживача.

**Мета роботи.** Оцінка якості функціонування розподільної електричної мережі з метою аналізу можливих варіантів живлення споживачів на час відновлювальних робіт.

**Матеріал і результати дослідження.** Критеріальна модель якості функціонування розподільної

електричної мережі.

У [3] запропоновано критеріальну модель отриману шляхом поєднання теорії марковських процесів та критеріального методу. Загальний вигляд критеріальної моделі такий:

$$E = \sum_{i=1}^m P_i \prod_{j=1}^n x_{*j}^{v_{ji}}, \quad (1)$$

де  $P_i$  – критерій подібності, який у цьому випадку за змістом є ймовірністю перебування системи в стані  $i$  (складова, яка враховує надійність системи);

$\prod_{j=1}^n x_{*j}^{v_{ji}}$  – показник ефективності стану  $i$  (складова,

яка враховує якість електроенергії);  $x_{*j}$  – незалежні параметри, що характеризують основні властивості системи (імовірності відповідності показників якості електроенергії нормованим значенням).

Для оцінки якості функціонування розподільної електричної мережі критеріальна модель матиме такий вид:

$$E = \sum_{i=1}^m P_i \cdot \frac{1}{P_i [A_{min} \leq A \leq A_{max}]^{v_{ii}}} \times \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n P_j [A_{min} \leq A \leq A_{max}]^{v_{ji}} - \sum_{i=n+1}^m P_i \prod_{j=1}^n P_j [A_{min} \leq A \leq A_{max}]^{v_{ji}} \quad (2)$$

де  $m$  – загальна кількість можливих станів розподільної електричної мережі;  $n$  – кількість робочих станів;  $P_j [A_{min} \leq A \leq A_{max}]$  – ймовірність того, що показники якості електричної енергії  $A$  в допустимому

мих межах при тому, що система перебуває в стані  $j$ ;  $v^{ji}$  – елементи матриці переходів, які є алгебраїчними сумами інтенсивностей відмов  $\lambda$  та інтенсивностей відновлень  $\mu$  елементів розподільної електричної мережі.

В критеріальній моделі (2) складова врахування якості електроенергії  $P_j [A_{min} \leq A \leq A_{max}]$  визначається як добуток імовірностей відповідності ГОСТ показників, які залежать від режиму роботи споживачів, під'єднаних до розподільної мережі. В [4] запропонована методика визначення ймовірності відповідності ГОСТ відхилень напруги в різних можливих станах системи.

Розрахунок ймовірності знаходження системи в стані  $i$   $P_i$ , перехід в який зумовлений виходом з ладу певного елемента системи, розраховується за системою рівнянь Колмогорова (3):

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^m v_{ji} P_i = 0, \quad j = \overline{2, n} \\ \sum_{i=1}^m P_i = 1, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Для спрощення графа, за яким формується система рівнянь (3), малоімовірні проміжні стани зводяться до основних, використовуючи спрощуючі формули [5]. Для послідовного з'єднання елементів в розподільній мережі загальна інтенсивність

відмов  $\lambda$  та відновлень  $\mu$  визначається як

$$\lambda_s = \sum_i \lambda_i, \quad \mu_s = \frac{8760 \cdot \sum_i \lambda_i}{\sum_i \lambda_i \cdot r_i}$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов  $i$ -го елемента;  $r_i$  – час відновлень елемента  $i$ .

Для двох паралельно з'єднаних елементів –

$$\lambda_{pp} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)}{1 + \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2}, \quad \mu_{pp} = \frac{8760 \cdot (r_1 + r_2)}{r_1 r_2}.$$

Використання ієрархічних марковських моделей, розроблених в [6], дозволяє розглядати надійність індивідуальних захистів споживачів, загальносистемної автоматики і релейного захисту та топології мережі окремо, уточнюючи модель при переході від нижчого рівня ієрархії до вищого.

Розрахунок і аналіз якості функціонування різних варіантів живлення споживачів

Проілюструємо оцінку можливих варіантів живлення споживачів за критерієм якості функціонування мережі на прикладі схеми, наведеної на рис. 1. Оцінку якості цієї схеми будемо проводити з урахуванням відхилення напруги у вузлах живлення.

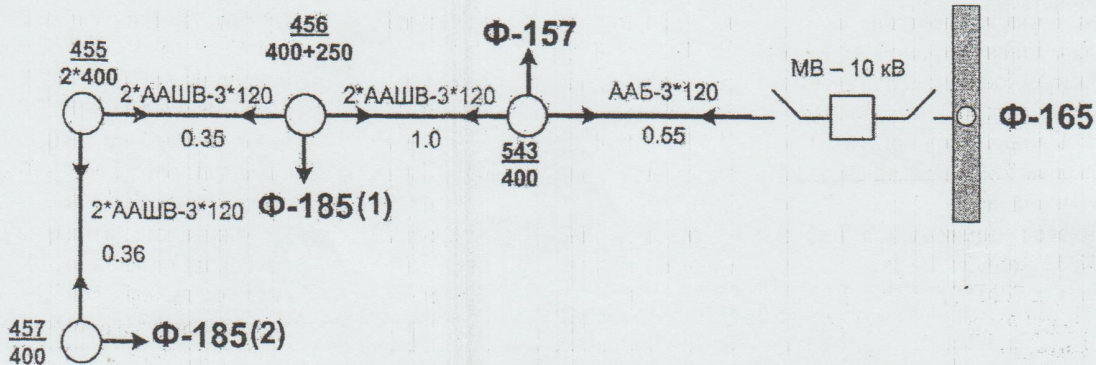


Рисунок 1 – Схема фідера 165 підстанції "Західна" Вінницьких міських електричних мереж

Для цієї схеми остаточний граф зміни станів, з врахуванням ієрархічних перетворень, матиме вигляд, наведений на рис. 2. Пояснення станів такі:

стан 1 – всі лінії та комутувальне обладнання працюють;

стан 2 – одне коло на двоколовій ділянці шини ТП543 – ТП456 відмовило, при врахуванні можливих станів решти елементів розподільної мережі;

стан 3 – друге коло на двоколовій ділянці шини ТП543 – ТП456 відмовило, при врахуванні можливих станів решти елементів розподільної мережі;

стан 4 – одне коло на двоколовій ділянці шини ТП456 – ТП455 відмовило, при врахуванні можливих станів решти елементів розподільної мережі;

стан 5 – друге коло на двоколовій ділянці шини ТП456 – ТП455 відмовило, при врахуванні можливих станів решти елементів розподільної мережі;

стан 6 – одне коло на двоколовій ділянці шини ТП455 – ТП457 відмовило, при врахуванні можливих станів решти елементів розподільної мережі;

стан 7 – друге коло на двоколовій ділянці шини ТП455 – ТП457 відмовило, при врахуванні можливих станів решти елементів розподільної мережі;

стати 8 – 10 – всі споживачі фідера відключені від живлення в наслідок спрацювання релейного захисту при відмови однієї з ліній ділянок ТП543 – ТП456, ТП456 – ТП455, ТП455 – ТП457 відповідно;

стан 11 – всі споживачі фідера відключені від живлення в наслідок спрацювання релейного захисту при відмові ділянки Ф-165 – ТП-543.

Під час побудови графу прийнято допущення щодо ідеальної надійності індивідуального захисту споживачів.

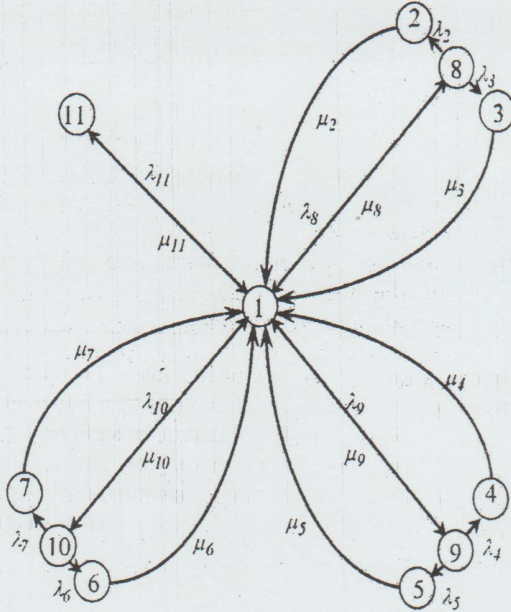


Рисунок 2 – Граф станів системи для варіанту живлення від шин підстанції ф-165

За графом (рис. 2) складається система рівнянь (3).

Для решти варіантів живлення споживачів складаються графи станів та системи рівнянь за ними, використовуючи аналогічні правила та допущення.

Вихідні дані для розрахунку якості функціонування наведені в таблиці 1 та таблиці 2.

Таблиця 1 – Надійнісні показники

	$\lambda$ (1/рік)	$\mu$ (1/рік)
Кабельна лінія	0,0122/км	292
Вимикач	0,006	2190

Таблиця 2 – Якість функціонування суміжних фідерів

Значення критерія якості функціонування	ф-157	ф-185
E	0,8	0,7

Результат розв'язку системи рівнянь (3) наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Імовірності станів системи за графом рис. 2

P <sub>1</sub>	0,999822
P <sub>2</sub>	9,15E-10
P <sub>3</sub>	9,15E-10
P <sub>4</sub>	9,15E-10
P <sub>5</sub>	9,15E-10
P <sub>6</sub>	9,15E-10
P <sub>7</sub>	9,15E-10
P <sub>8</sub>	4,45E-05
P <sub>9</sub>	4,45E-05
P <sub>10</sub>	4,45E-05
P <sub>11</sub>	4,45E-05

Імовірність відповідності ГОСТ відхилень напруги на затискачах споживачів визначається за методикою наведеною в [4], використовуючи графік відхилення напруги (для ТП-457 при живленні від шин Ф-165 див. рис. 3).

Під час розрахунку якості функціонування варіантів живлення від суміжних фідерів визначається результуюче значення як добуток якості функціонування відповідного фідера і фрагмента розподільної мережі живлення споживачів фідера ф-165. Наприклад, для живлення від ф-157 результуюче значення якості функціонування буде визначатись так:

$$E_1 = E_{543-456-455-457} \cdot E_{\phi-157}.$$

Результати розрахунків наведені на рис. 4. Показники якості електроенергії визначаються для кожної підстанції окремо. Проаналізувавши результати розрахунку, можна так розташувати варіанти живлення: ф-165 та ф-157, для решти варіантів потрібен індивідуальний підхід, наприклад, для ТП 457 краще житись від ф-185(2), а для ТП 456 – ф-185(1).

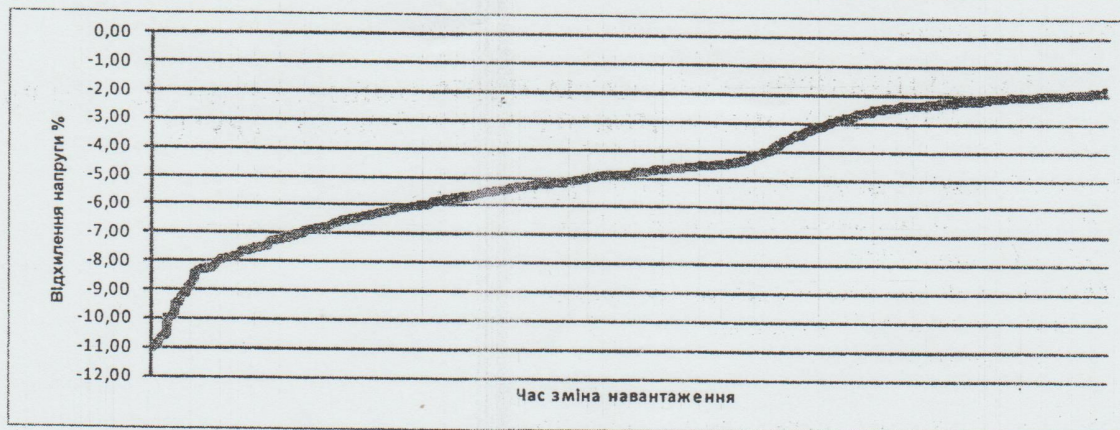


Рисунок 3 – Відхилення напруги на затискачах ТП-457 протягом року

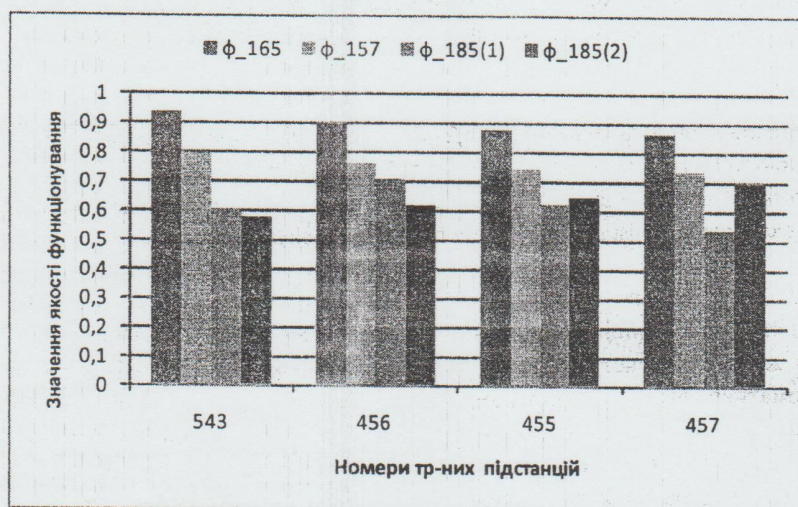


Рисунок 4 – Результати розрахунку

**Висновки.** Під час виконання відновлювальних робіт, або ліквідації аварій диспетчеру необхідно мати інформацію не лише про можливі варіанти живлення споживачів але й мати оцінку цих варіантів по надійності живлення і якості електроенергії, тобто якості функціонування.

Використання критеріальної моделі, що ґрунтується на поєднанні теорії марковських процесів та критеріального програмування, дозволяє розв'язати цю задачу. При цьому результат отримується у відносних одиницях, що спрощує його аналіз.

ЛІТЕРАТУРА

1. Надійне та безпечне електропостачання, розвиток електромереж - під контролем Держенергонагляду [Електронний ресурс] 12 липня 2007. Режим доступу: [http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukren-ergo/control/uk/publish/article?art\\_id=54905&cat\\_id=35981](http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukren-ergo/control/uk/publish/article?art_id=54905&cat_id=35981)

2. Ключко В. П. К вопросу о разработке схем развития распределительных электрических сетей энергоснабжающих компаний / В. П. Ключко // Новини енергетики. – 2008. – № 6. – С. 28 – 33.

3. Критерій оцінки якості функціонування розподільних мереж [Електронний ресурс] / Лежнюк П. Д., Комар В. О., Кравцов К. І. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – № 3. – 2008. Режим доступу до журн.: [http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-3.files/uk/08pdlodn\\_ua.pdf](http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-3.files/uk/08pdlodn_ua.pdf)

4. Фокин Ю. А. Оценка надёжности систем электроснабжения / Ю. А. Фокин, В. А. Туфанов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 224 с.

5. Distribution System Reliability Assessment Using Hierarchical Markov Modeling / Brown R. E., Gupta S., Christie R. D., Venkata S. S., Fletcher R. // IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, № 4, October 1996. – P. 1929 – 1934.

6. Биллингтон Р. Оценка надёжности электроэнергетических систем / Биллингтон Р., Аллам Р.; пер. с англ. В. А. Туфанова; под ред. Ю. А. Фокина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.

Стаття надійшла 20.03.2009 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Чорним О.П.

УДК 621.311.1.018.3

**ВРАХУВАННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ СИСТЕМ ПІД ЧАС ЇХ РЕКОНСТРУКЦІЇ**

*Лежнюк П. Д., д.т.н., проф., Комар В.О., к.т.н., доц., Лесько В.О., асист. Вінницький національний технічний університет*

*Поліщук А. Л., заст. директора*

*Вінницькі міські електричні мережі*

*21021, м. Вінниця, вул. Воїнів-Інтернаціоналістів, 3, кв. 122*

*E-mail: kvo76@mail.ru*

В статті пропонується використовувати критерій якості функціонування розподілених електричних мереж для оцінки можливих варіантів живлення споживачів у час їх реконструкції.

**Ключевые слова:** розподілені мережі, якість функціонування.

In the article the technique of determination of functioning quality criterion of distributive electric networks is offered. Proposed functioning quality criterion can be used for the variant of power supply appraisal under network reconstruction.

**Keywords:** distributive networks, functioning quality.

**Вступ.** Стан електроенергетики після тривалого періоду недостатнього інвестування характеризується серйозним зносом як генерувального, так і мережевого обладнання. Зокрема, в результаті експлуатації розподільних електричних мереж за останні 15 років, коли розвиток, відновлення та модернізація відстали від процесу фізичного старіння, а коефіцієнт дефектності розподільних електромереж України досяг 13 %, відносно надійне постачання електроенергією стало ненадійним і незадовільним щодо якості електроенергії [1]. Така ситуація ускладнюється тенденцією до переходу на електроопалення [2], що вимагає додаткових витрат на розвиток існуючих і будівництво нових розподільних електричних мереж.

Обмеженість фінансових ресурсів електропостачальних компаній не дозволяє відновити обладнання мережі у короткі терміни. Тому процес реконструкції та відновлення розбивається на етапи. Така етапність відновлювальних робіт призводить до тимчасового погіршення показників надійності електропостачання та якості електричної енергії, що суттєво впливає на режим роботи споживача. Для зменшення такого негативного впливу переконафігурації розподільної мережі, пов'язаної з відновлювальними роботами, необхідно визначити оптимальні варіанти живлення споживачів з множини можливих. Критерієм оптимальності може бути якість функціонування розподільної електричної мережі по відношенню до конкретного споживача.

**Мета роботи.** Оцінка якості функціонування розподільної електричної мережі з метою аналізу можливих варіантів живлення споживачів на час

відновлювальних робіт.

**Матеріал і результати дослідження.** Критеріальна модель якості функціонування розподільної електричної мережі.

У [3] запропоновано критеріальну модель, отриману шляхом поєднання теорії марковських процесів та критеріального методу. Загальний вигляд критеріальної моделі такий:

$$E = \sum_{i=1}^m P_i \prod_{j=1}^n x_{*j}^{v_{ji}}, \quad (1)$$

де  $P_i$  – критерій подібності, який у цьому випадку за змістом є ймовірністю перебування системи в стані  $i$  (складова, яка враховує надійність системи);  $\prod_{j=1}^n x_{*j}^{v_{ji}}$  – показник ефективності стану  $i$  (складова, яка враховує якість електроенергії);  $x_{*j}$  – незалежні параметри, що характеризують основні властивості системи (імовірності відповідності показників якості електроенергії нормованим значенням).

Для оцінки якості функціонування розподільної електричної мережі критеріальна модель матиме такий вид:

$$E = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \frac{1}{P_i [A_{min} \leq A \leq A_{max}]^{v_{ii}}} \times \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n P_j [A_{min} \leq A \leq A_{max}]^{v_{ji}} - \sum_{i=n+1}^m P_i \prod_{j=1}^n P_j [A_{min} \leq A \leq A_{max}]^{v_{ji}} \quad (2)$$

де  $m$  – загальна кількість можливих станів



розподільної електричної мережі;  $n$  – кількість робочих станів;  $P_j[A_{min} \leq A \leq A_{max}]$  – ймовірність того, що показники якості електричної енергії  $A$  в допустимих межах при тому, що система перебуває в стані  $j$ ;  $v^{ji}$  – елементи матриці переходів, які є алгебраїчними сумами інтенсивностей відмов  $\lambda$  та інтенсивностей відновлень  $\mu$  елементів розподільної електричної мережі.

В критеріальній моделі (2) складова врахування якості електроенергії  $P_j[A_{min} \leq A \leq A_{max}]$  визначається як добуток ймовірностей відповідності ГОСТ показників, які залежать від режиму роботи споживачів, під'єднаних до розподільної мережі. В [4] запропонована методика визначення ймовірності відповідності ГОСТ відхилень напруги в різних можливих станах системи.

Розрахунок ймовірності знаходження системи в стані  $i$   $P_i$ , перехід в який зумовлений виходом з ладу певного елемента системи, розраховується за системою рівнянь Колмогорова (3):

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^m v_{ji} P_i = 0, \quad j = \overline{2, n} \\ \sum_{i=1}^m P_i = 1, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Для спрощення графа, за яким формується система рівнянь (3), малоімовірні проміжні стани

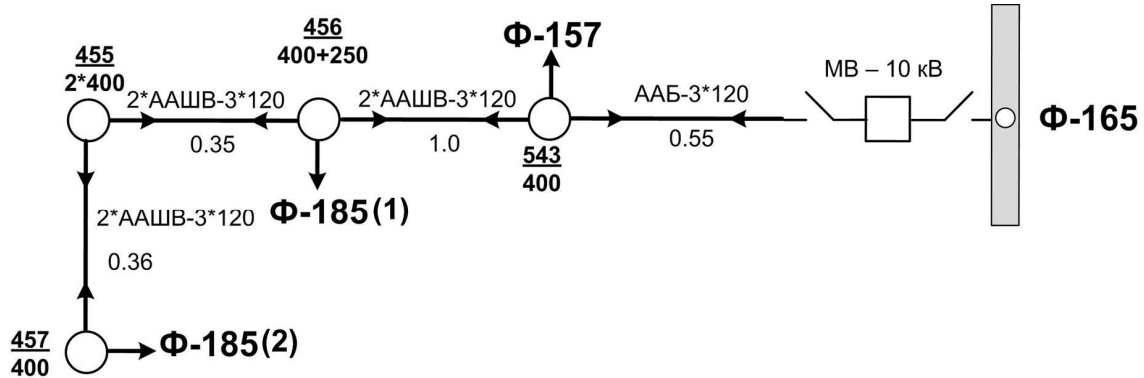


Рисунок 1 – Схема фідера 165 підстанції "Західна" Вінницьких міських електричних мереж

Для цієї схеми остаточний граф зміни станів, з врахуванням ієрархічних перетворень, матиме вигляд, наведений на рис. 2. Пояснення станів такі:

стан 1 – всі лінії та комутувальне обладнання працюють;

стан 2 – одне коло на двоколовій ділянці шини ТП543 – ТП456 відмовило, при врахуванні можливих станів решти елементів розподільної мережі;

зводяться до основних, використовуючи спрощуючі формули [5]. Для послідовного з'єднання елементів в розподільній мережі загальна інтенсивність відмов  $\lambda$  та відновлень  $\mu$  визначається як

$$\lambda_s = \sum_i \lambda_i, \quad \mu_s = \frac{8760 \cdot \sum_i \lambda_i}{\sum_i \lambda_i \cdot r_i}$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов  $i$ -го елемента;  $r_i$  – час відновлень елемента  $i$ .

Для двох паралельно з'єднаних елементів –

$$\lambda_{pp} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)}{1 + \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2}, \quad \mu_{pp} = \frac{8760 \cdot (r_1 + r_2)}{r_1 r_2}.$$

Використання ієрархічних марковських моделей, розроблених в [6], дозволяє розглядати надійність індивідуальних захистів споживачів, загальносистемної автоматики і релейного захисту та топології мережі окремо, уточнюючи модель при переході від нижчого рівня ієрархії до вищого.

Розрахунок і аналіз якості функціонування різних варіантів живлення споживачів

Проілюструємо оцінку можливих варіантів живлення споживачів за критерієм якості функціонування мережі на прикладі схеми, наведеної на рис. 1. Оцінку якості цієї схеми будемо проводити з урахуванням відхилень напруги у вузлах живлення.

стан 3 – друге коло на двоколовій ділянці шини ТП543 – ТП456 відмовило, при врахуванні можливих станів решти елементів розподільної мережі;

стан 4 – одне коло на двоколовій ділянці шини ТП456 – ТП455 відмовило, при врахуванні можливих станів решти елементів розподільної мережі;

стан 5 – друге коло на двоколовій ділянці шини ТП456 – ТП455 відмовило, при врахуванні

можливих станів решти елементів розподільної мережі;

стан 6 – одне коло на двоколовій ділянці шини ТП455 – ТП457 відмовило, при врахуванні можливих станів решти елементів розподільної мережі;

стан 7 – друге коло на двоколовій ділянці шини ТП455 – ТП457 відмовило, при врахуванні можливих станів решти елементів розподільної мережі;

стани 8 – 10 – всі споживачі фідера відключені від живлення в наслідок спрацювання релейного захисту при відмові однієї з ліній ділянок ТП543 – ТП456, ТП456 – ТП455, ТП455 – ТП457 відповідно;

стан 11 – всі споживачі фідера відключені від живлення в наслідок спрацювання релейного захисту при відмові ділянки Ф-165 – ТП-543.

Під час побудови графу прийнято допущення щодо ідеальної надійності індивідуального захисту споживачів.

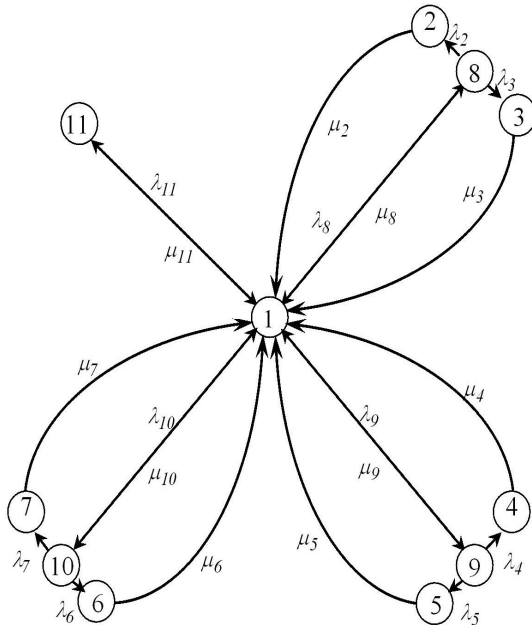


Рисунок 2 – Граф станів системи для варіанту живлення від шин підстанції Ф-165

За графом (рис. 2) складається система рівнянь (3).

Для решти варіантів живлення споживачів складаються графи станів та системи рівнянь за ними, використовуючи аналогічні правила та допущення.

Вихідні дані для розрахунку якості функціонування наведені в таблиці 1 та таблиці 2.

Таблиця 1 – Надійнісні показники

	$\lambda$ (1/рік)	$\mu$ (1/рік)
Кабельна лінія	0,0122/км	292
Вимикач	0,006	2190

**Таблиця 2 – Якість функціонування суміжних фідерів**

Значення критерія якості функціонування	ф-157	ф-185
E	0,8	0,7

Результат розв'язку системи рівнянь (3) наведені в таблиці 3.

**Таблиця 3 – Імовірності станів системи за графом рис. 2**

P <sub>1</sub>	0,999822
P <sub>2</sub>	9,15E-10
P <sub>3</sub>	9,15E-10
P <sub>4</sub>	9,15E-10
P <sub>5</sub>	9,15E-10
P <sub>6</sub>	9,15E-10
P <sub>7</sub>	9,15E-10
P <sub>8</sub>	4,45E-05
P <sub>9</sub>	4,45E-05
P <sub>10</sub>	4,45E-05
P <sub>11</sub>	4,45E-05

Імовірність відповідності ГОСТ відхилень напруги на затискачах споживачів визначається за методикою наведеною в [4], використовуючи

графік відхилення напруги (для ТП-457 при живленні від шин Ф-165 див. рис. 3).

Під час розрахунку якості функціонування варіантів живлення від суміжних фідерів визначається результуюче значення як добуток якості функціонування відповідного фідера і фрагмента розподільної мережі живлення споживачів фідера ф-165. Наприклад, для живлення від ф-157 результуюче значення якості функціонування буде визначатись так:

$$E_I = E_{543-456-455-457} \cdot E_{\text{ф-157}}.$$

Результати розрахунків наведені на рис. 4. Показники якості електроенергії визначаються для кожної підстанції окремо. Проаналізувавши результати розрахунку, можна так розташувати варіанти живлення: ф-165 та ф-157, для решти варіантів потрібен індивідуальний підхід, наприклад, для ТП 457 краще житись від ф-185(2), а для ТП 456 – ф-185(1).

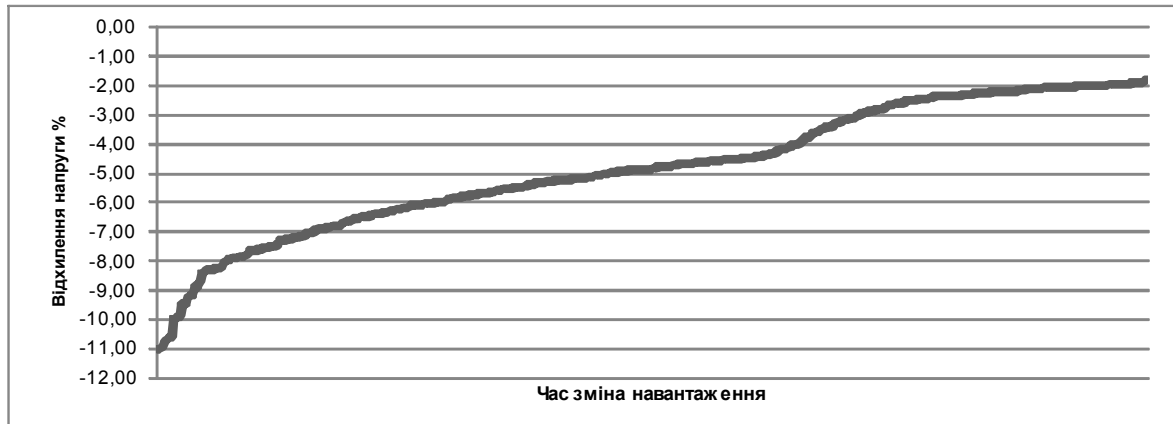


Рисунок 3 – Відхилення напруги на затискачах ТП-457 протягом року

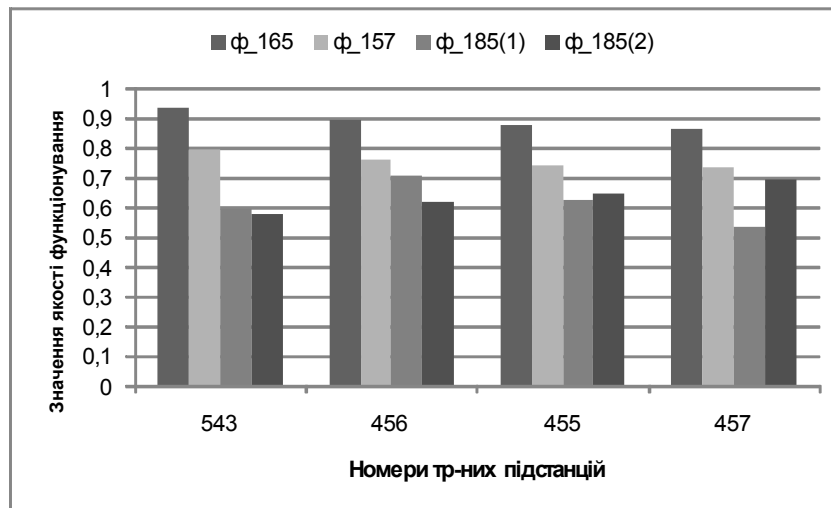


Рисунок 4 – Результати розрахунку

**Висновки.** Під час виконання відновлювальних робіт, або ліквідації аварій диспетчеру необхідно мати інформацію не лише про можливі варіанти живлення споживачів але й мати оцінку цих варіантів по надійності живлення і якості електроенергії, тобто якості функціонування.

Використання критеріальної моделі, що ґрунтується на поєднанні теорії марковських процесів та критеріального програмування, дозволяє розв'язати цю задачу. При цьому результат отримується у відносних одиницях, що спрощує його аналіз.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Надійне та безпечне електропостачання, розвиток електромереж - під контролем Держенергонагляду [Електронний ресурс] 12 липня 2007. Режим доступу: [http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo/control/uk/publish/article?art\\_id=54905&cat\\_id=35981](http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo/control/uk/publish/article?art_id=54905&cat_id=35981)

2. Ключко В. П. К вопросу о разработке схем развития распределительных электрических сетей энергообеспечивающих компаний / В. П. Ключко //

Новини енергетики. – 2008. – № 6. – С. 28 – 33.

3. Критерій оцінки якості функціонування розподільних мереж [Електронний ресурс] / Лежнок П. Д., Комар В. О., Кравцов К. І. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – № 3. – 2008. Режим доступу до журн.: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-3.files/uk/08pdldn\\_ua.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-3.files/uk/08pdldn_ua.pdf)

4. Фокин Ю. А. Оценка надёжности систем электроснабжения / Ю. А. Фокин, В. А. Туфанов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 224 с.

5. Distribution System Reliability Assessment Using Hierarchical Markov Modeling / Brown R. E., Gupta S., Christie R. D., Venkata S. S., Fletcher R. // IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, № 4, October 1996. – P. 1929 – 1934.

6. Биллинтон Р. Оценка надёжности электроэнергетических систем / Биллинтон Р., Аллам Р.; пер. с англ. В. А. Туфанова; под ред. Ю. А. Фокина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.

Стаття надійшла 20.03.2009 р.

Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Чорним О.П.