

<sup>1</sup>Канд. техн. наук, доцент кафедри гідроенергетики Запорізької державної інженерної академії, інженер цеху комп'ютерних технологій, релейного захисту і зв'язку Дніпровської ГЕС, Запоріжжя, Україна

<sup>2</sup>Магістрант кафедри гідроенергетики Запорізької державної інженерної академії, Запоріжжя, Україна

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ СХЕМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ

*Удосконалено метод дерева відмов для оцінювання імовірності відмови схеми релейного захисту на інтервалі часу шляхом використання статистичних функцій розподілу імовірності відмов елементів схеми релейного захисту. Удосконалений метод дозволяє проводити оцінку надійності схем релейного захисту з урахуванням характеристик окремих типів обладнання. Проведено порівняльний аналіз надійності схем релейного захисту на електромеханічній та мікропроцесорній елементній базі.*

**Ключові слова:** надійність, релейний захист, імовірність, відмова, технічний стан, дерево відмов.

### ВСТУП

Сучасний стан електроенергетичної системи (ЕЕС) України та її окремих підсистем характеризується напруженим режимом роботи через значне зношення силового, комутаційного та вторинного обладнання. В таких умовах особливу важливість має достовірне оцінювання надійності роботи ЕЕС з метою визначення слабких підсистем та прийняття рішень щодо їхньої модернізації. Для проведення кількісного оцінювання надійності роботи ЕЕС необхідні показники, які б враховували [1]:

- технічний стан силового, вторинного та комутаційного обладнання;
- імовірність відмови обладнання, можливі сценарії розвитку аварії та наслідки;
- стохастичний характер режиму ЕЕС.

Світові тенденції забезпечення надійної роботи ЕЕС свідчать про поступовий перехід до концепції інтелектуальних мереж «smart grid» та застосування ризик-менеджменту при прийнятті рішень. Застосування стратегії ризик-менеджменту при керуванні ЕЕС вимагає визначення ризику як інтегрального показника функціонування, який дає можливість найбільш повно та достовірно характеризувати стан ЕЕС [2]. Для організації ефективного управління ЕЕС необхідний комплексний підхід, який би враховував випадковість відмов елементів ЕЕС, стохастичний характер її режиму, можливий сценарій розвитку аварії та наслідки в технічному, економічному чи матеріальному еквіваленті.

Згідно зі статистичними даними [3, 4] 23–28% важких аварій є наслідком неправильних дій релейного захисту (РЗ) та протиаварійної автоматики. В 50–70% випадків вони призводять до розвитку аварійних ситуацій в тяжкі системні аварії [5]. Таким чином, для оцінювання ризику виникнення аварії в ЕЕС з урахуванням всіх сценаріїв її розвитку необхідно мати адекватні моделі для визначення технічного стану пристроїв та схем вторинної комутації, в першу чергу РЗ. Особливо актуальною ця задача є для схем РЗ, в яких використовуються мікропроцесорні пристрої релейного захисту (МІРЗ), які, згідно зі статистикою [5, 6], мають нижчу експлуатаційну надійність за схеми з електромеханічними реле.

### 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Для кількісного оцінювання надійності пристроїв РЗ необхідно визначити найбільш доцільний та інформативний показник, який би враховував такі фактори:

- більше 99% всього часу експлуатації схеми РЗ знаходяться в режимі «очікування», наслідком чого є можливість виникнення в них так званих «прихованих відмов», які проявляються лише під час автоматичної ліквідації аварійного режиму у вигляді невиконання пристроєм РЗ своїх функцій;
- різноманітність видів відмов пристроїв та схем РЗ (відмови у спрацьованні, хибні спрацьовання, надлишкові спрацьовання);
- складність пристроїв та схем РЗ.

Аналіз існуючих показників надійності, які застосовуються для пристроїв РЗ, показав, що найбільш повно враховує зазначені вище фактори імовірність відмови у спрацьованні пристрою РЗ на інтервалі часу  $Q(\Delta t)$ , або, іншими словами, імовірність знаходження пристрою або схеми РЗ в непрацездатному стані при виникненні на інтервалі часу аварійної ситуації, яку має ліквідувати розглядуваний пристрій РЗ.

Для кількісної оцінки імовірності відмови схеми РЗ на інтервалі часу  $Q(\Delta t)$  необхідно визначитись з методом оцінювання надійності. Існує ряд методів визначення надійності пристроїв та схем РЗ [7], кожний з яких має переваги та недоліки з точки зору того, які саме показники необхідно визначити. Так, наприклад, логіко-імовірнісний метод [8] дозволяє проводити розрахунок доволі складних систем, та враховувати у розрахунках велику кількість параметрів. Недоліком цього методу є те, що він обмежує кількість станів об'єкту до двох: працездатного та непрацездатного, що не відповідає реальним умовам функціонування РЗ, непрацездатний стан може бути виражений явно або приховано, а явні відмови, в свою чергу, класифікуються як відмови у спрацьованні, хибні та зайві спрацьовання.

Широкого застосування при оцінці надійності пристроїв РЗ набув метод ланцюгів Маркова [9]. Цей метод можна використовувати як у випадку обмеженого, так і

у випадку необмеженого відновлення при будь-якому часі між перевірками справності комплектів РЗ. Однак, у зв'язку з досить високою складністю, його, зазвичай, застосовують тоді, коли припущення, що використовуються в інших методах, стають неприйнятними.

Підхід до оцінки надійності пристроїв РЗ на основі методу дерева відмов [6, 7], дозволяє врахувати особливості функціонування цих пристроїв і отримати якісні та кількісні показники надійності, визначити ненадійні елементи і запропонувати більш надійні варіанти виконання цих пристроїв.

В роботі ставиться задача удосконалити метод оцінювання імовірності відмови пристрою РЗ на інтервалі часу шляхом врахування статистичних характеристик обладнання в цілому та індивідуальних характеристик окремих одиниць обладнання.

## 2. МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ СХЕМ РЗ

Для кількісного визначення імовірності  $Q(\Delta t)$  найбільше підходить метод дерева відмов [7], який дозволяє визначити шукану величину  $Q(\Delta t)$  як функцію від показників надійності елементів, що складають схему РЗ як на електромеханічній так і на мікропроцесорній базі. Також цей метод є адаптивним для використання в імовірнісно-статистичних алгоритмах оцінювання ризику виникнення аварії в ЕЕС та її підсистемах [2].

Формування дерева відмов починається з формулювання кінцевої події про відмову системи. Для побудови дерева відмов використовується метод мінімальних перетинів або метод розкладання по елементам [9]. Суть обох цих методів полягає в тому, що при описі умов непрацездатності системи слід використовувати тільки такі поєднання несправностей, з яких не можна виключити жоден елемент без того, щоб система стала працездатною. За результатом побудови дерева відмов складається послідовний ланцюг з мінімальних перетинів (ланок), які представляють собою паралельне з'єднання елементів захисту, одночасна відмова яких робить захист непрацездатним.

Для визначення імовірності знаходження схеми РЗ в непрацездатному стані на інтервалі часу  $\Delta t = t_2 - t_1$  необхідно визначити імовірності відмови захисту в моменти часу  $t_1$  і  $t_2$ . Вони визначаються за ланцюгом відмов пристрою РЗ:

$$Q(t) = 1 - P_1(t) \cdot \dots \cdot P_i(t) \cdot \dots \cdot P_m(t), \quad (1)$$

де  $P_i(t)$  – імовірність безвідмовної роботи в момент часу  $t$   $i$ -ї ланки ланцюга відмов об'єкта. Оскільки ланки у ланцюгу з'єднані послідовно, імовірність безвідмовної роботи ланцюга визначається як добуток імовірностей безвідмовної роботи всіх ланок.

В свою чергу, імовірність безвідмовної роботи кожної ланки  $P_i(t)$  визначається як сума імовірностей сумісних подій, так як кожна ланка представляє собою паралельне з'єднання елементів РЗ, одночасна відмова яких

призводить до непрацездатності всього захисту. В загальному випадку для  $i$ -ї ланки з  $n$  паралельних елементів імовірність безвідмовної роботи складає [7]:

$$P_i(t) = \sum_{j=1}^n P_{W_j}(t) - \sum_{j,k=1, j \neq k}^n P_{W_j}(t) \cdot P_{W_k}(t) + \sum_{j,k,l=1, j \neq k \neq l}^n P_{W_j}(t) \cdot P_{W_k}(t) \cdot P_{W_l}(t) - \dots, \quad (2)$$

де  $P_{W_j}(t)$  – імовірність безвідмовної роботи елемента РЗ  $W_j$ ,  $j \in W$ , де  $W$  – множина елементів, з яких складається схема захисту.

Імовірності безвідмовної роботи елементів схеми РЗ визначаються одним з наступних способів:

1) за експоненціальним законом розподілу імовірності відмови об'єкта за незмінних параметрів потоку відмов відповідних елементів  $\omega_j = const, j \in W$ :

$$P_{W_j}(t) = e^{-\omega_j t}; \quad (3)$$

2) за статистичними інтегральними функціями розподілу імовірності відмов елементів схеми РЗ кожного типу  $F_j(t)$ ,  $j \in W$ :

$$P_{W_j}(t) = 1 - F_j(t); \quad (4)$$

3) за статистичними інтегральними функціями розподілу імовірності відмов, модифікованими з урахуванням фактичного технічного стану кожного окремого елемента захисту  $F_j'(t)$ ,  $j \in W$ :

$$P_{W_j}(t) = 1 - F_j'(t). \quad (5)$$

Кожен з перерахованих способів має свої переваги та недоліки. Визначення імовірності відмови за експоненціальним законом є найпростішим, оскільки усереднені значення потоків відмов окремих елементів релейного захисту (трансформатори струму, струмові реле, реле часу, проміжні реле, мікропроцесорні термінали, тощо) є довідниковими величинами, але, з іншого боку, оцінка надійності проведена з використанням усереднених параметрів є найменш точною і, згідно з [10], є придатною лише для проведення різного роду порівняльних оцінок надійності і непридатною для оцінювання надійності окремого обладнання. Оцінювання імовірності відмови пристрою РЗ з використанням інтегральних функцій розподілу імовірності відмов є більш точним, оскільки функції  $F_j(t)$  базуються на генеральній сукупності подій і представляють собою імовірнісні характеристики окремого типу обладнання [2]. Модифіковані функції  $F_j'(t)$  з урахуванням технічного стану конкретних елементів розглядуваної схеми РЗ дозволяють отримати найбільш точну кількісну оцінку імовірності безвідмовної роботи кожного елемента і, як наслідок, всієї схеми РЗ, але їхнє використання вимагає наявності адекватних моделей стану окремих пристроїв та реле, що ускладнене внаслідок їхньої великої різноманітності. Інтегральні статистичні функції  $F_j(t)$  та модифіковані інтегральні статистичні функції

можна використовувати при оцінюванні надійності конкретної схеми РЗ.

Після визначення імовірностей відмови розглядуваної схеми РЗ в моменти часу  $t_1$  і  $t_2$  за рівнянням (1), визначається імовірність відмови схеми релейного захисту на інтервалі часу. Якщо відомо, що в момент часу  $t_1$  схема РЗ була працездатною, то імовірність її відмови на інтервалі часу  $\Delta t$  визначається як:

$$Q(\Delta t) = \frac{Q(t_2) - Q(t_1)}{1 - Q(t_1)} \quad (6)$$

Якщо відомості щодо працездатності схеми на момент часу  $t_1$  відсутні, то імовірність її відмови на інтервалі часу  $\Delta t$  визначається за виразом:

$$Q(\Delta t) = Q(t_2) - Q(t_1) \quad (7)$$

Отримана імовірність відмови є кількісною характеристикою надійності схеми РЗ на інтервалі часу і може бути використана в задачах оцінювання ризику виникнення аварії в ЕЕС та подальшого прийняття рішень щодо зниження його величини.

### 3. ПРИКЛАД ТА РЕЗУЛЬТАТИ

На Дніпровський ГЕС у 2009-2010 роках була проведена заміна комірок КРУ-6 кВ мережі власних потреб з електромеханічними захистами на сучасні комірки, оздоблені мікропроцесорними терміналами МІСОМ Р139 (струмові реле) та МІСОМ Р922 (реле напруги). Приєднання мережі 6 кВ захищаються наступними захистами, які є внутрішніми функціями реле МІСОМ Р139:

- максимальний струмовий захист (МСЗ);
- струмова відсічка (СВ).

В комірці КРУ-6 кВ встановлено один мікропроцесорний термінал. Резервування захистів приєднань на випадок виходу з ладу МІСОМ Р139 забезпечується захистами суміжних ділянок мережі власних потреб. Власних резервних захистів комірці КРУ-6 кВ Дніпровської ГЕС не мають.

Структурні схеми захистів приєднань 6 кВ до заміни (на електромеханічній базі) та після (на мікропроцесорній базі) приведені на рис. 1.

На рис. 1:  $TA_A, TA_C$  – трансформатори струму у фазах А та С відповідно;  $KA_{A-MS3}, KA_{C-MS3}$  – електромеханічні струмові реле МСЗ у струмових колах фаз А та С відповідно;  $KA_{A-CB}, KA_{C-CB}$  – електромеханічні струмові реле СВ у струмових колах фаз А та С відповідно;  $KT$  – електромеханічне реле часу;  $KL$  – електромеханічне проміжне реле;  $Q$  – вимикач у комірці КРУ-6 кВ;  $YAT$  – електромагніт відключення вимикача;  $AK$  – мікропроцесорний пристрій релейного захисту.

Для схем РЗ з рис. 1 необхідно провести порівняльний аналіз їхньої надійності на інтервалі часу  $\Delta t = 3$  місяці ( $t_1 = 5$  років та  $t_2 = 5,25$  років).

Для отримання кількісної оцінки імовірності відмови у спрацюванні РЗ на інтервалі часу використовується метод дерева відмов з розкладанням схеми по обраному елементу. Слід зазначити, що для трифазного КЗ АВС та двофазних КЗ АВ, ВС та СА, вигляд дерева відмов буде різним. Також його структура буде залежати від того відбулось КЗ на початку захищуваної лінії (зона дії СВ) чи в кінці (зона дії МСЗ). В цьому дослідженні оцінювання надійності схем РЗ буде виконуватись для найтяжчого з можливих пошкоджень – близького трифазного КЗ. Побудовані дерева відмов представлені на рис. 2.

За побудованими деревами відмов складаються відповідні ланцюги відмов (рис. 3).

Для оцінювання імовірності знаходження пристрою РЗ в непрацездатному стані на інтервалі часу  $\Delta t = 3$  місяці необхідно обрати спосіб визначення імовірності безвідмовної роботи елементів схеми релейного захисту. Аналіз наявних даних з відмов електромеханічних струмових реле, реле часу та проміжних реле показав їхню недостатність для побудови достовірних  $F(t)$ . В цих умовах порівняльний аналіз імовірності відмови на інтервалі часу для обох схем проведено за експоненціальним законом розподілення імовірності відмови об'єкта. Параметри потоків відмов елементів, що входять до складу обох схем прийнято за [6, 7]:

- трансформатори струму

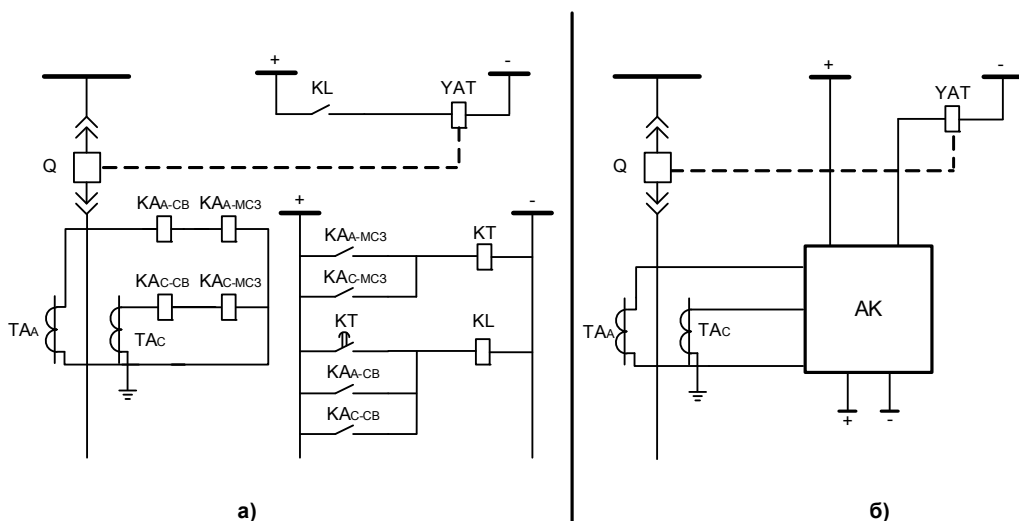


Рисунок 1 – Структурні схеми захистів МСЗ та СВ комірок КРУ-6 кВ мережі власних потреб Дніпровської ГЕС (а – на електромеханічній базі, б – на мікропроцесорній базі)

$$\omega_{TAA} = \omega_{TAC} = 0,0003 \text{ 1/рік};$$

– струмові реле

$$\omega_{KAA-CB} = \omega_{KAC-CB} = \omega_{KAA-MC3} = \omega_{KAC-MC3} = 0,0001 \text{ 1/рік};$$

– реле часу  $\omega_{KT} = 0,0005 \text{ 1/рік};$

– проміжне реле  $\omega_{KL} = 0,0003 \text{ 1/рік};$

– МПРЗ  $\omega_{AK} = 0,001 \text{ 1/рік}.$

За приведеними параметрами потоків відмов розраховані імовірності безвідмовної роботи за виразом (3) в моменти часу  $t_1$  та  $t_2$ . Результати приведені в табл. 1.

На основі загального виразу (2) визначаються вирази для оцінювання імовірності безвідмовної роботи ланок ланцюгів відмов обох схем РЗ. Отримані імовірності занесені в табл. 2.

Згідно з виразом (1), визначаються імовірності відмови ланцюгів для обох захистів:

– електромеханічного:

$$Q_e(t) = 1 - P_{e1}(t) \cdot P_{e2}(t) \cdot P_{e3}(t) \cdot P_{e4}(t) \cdot P_{e5}(t) \cdot$$

$$\cdot P_{e6}(t) \cdot P_{e7}(t) \cdot P_{e8}(t); \quad (8)$$

– мікропроцесорного:

$$Q_m(t) = 1 - P_{m1}(t) \cdot P_{m2}(t). \quad (9)$$

Визначені за виразами (8), (9) імовірності відмови обох схем захисту в моменти часу  $t_1 = 5 \text{ років}$  та  $t_2 = 5,25 \text{ років}$  представлені в табл. 3. За отриманими значеннями  $Q(t_1)$  та  $Q(t_2)$  визначається шукана імовірність відмови пристрою РЗ на інтервалі часу  $\Delta t = t_2 - t_1$ . Оскільки більшу частину часу пристрій РЗ знаходиться у режимі очікування, в більшості випадків відомостей щодо працездатності схеми РЗ в момент часу  $t_1$  немає, тому імовірність відмови на інтервалі часу визначається за виразом (7).

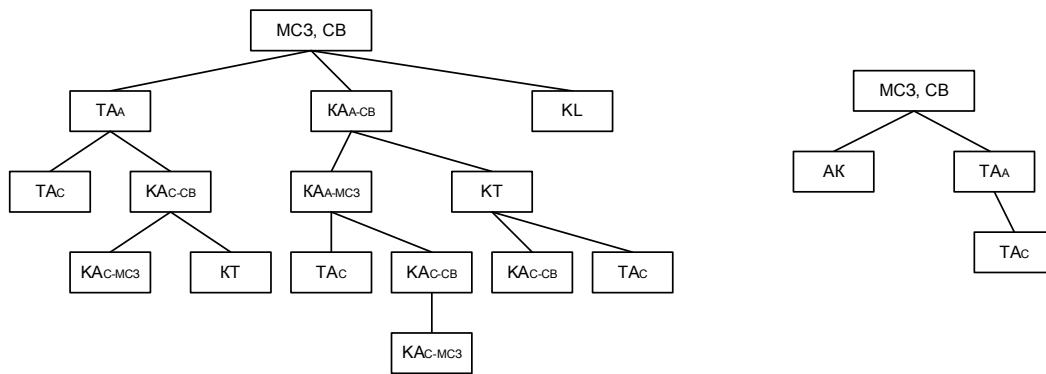


Рисунок 2 – Дерева відмов:

а) схеми МСЗ та СВ на електромеханічній базі; б) схеми МСЗ та СВ з МПРЗ

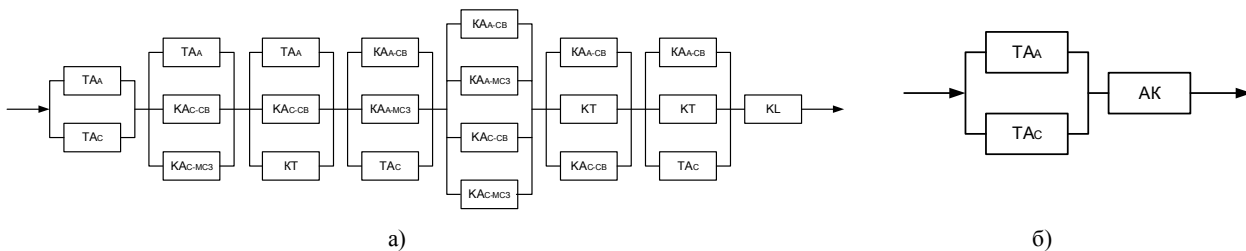


Рисунок 3 – Ланцюги відмов:

а) схеми МСЗ та СВ на електромеханічній базі; б) схеми МСЗ та СВ з МПРЗ

Таблиця 1 – Імовірності безвідмовної роботи елементів схем релейного захисту

Елемент	$\omega, \text{1/рік}$	$P(t_1)$	$P(t_2)$
TAA, TAC	0,0003	0,9985011244	0,9984262397
KAA-CB, KAC-CB, KAA-MC3, KAC-MC3	0,0001	0,9995001250	0,9994751378
KT	0,0005	0,9975031224	0,9973784423
KL	0,0003	0,9985011244	0,9984262397
AK	0,001	0,9950124792	0,9947637572

**Таблиця 2** – Імовірності безвідмовної роботи ланок ланцюгів відмов

№ ланки	Елементи, що її складають	$P_{wi}(t_1)$	$P_{wi}(t_2)$
Електромеханічний захист			
1	ТА <sub>А</sub> -ТА <sub>С</sub>	0,99999775337205	0,99999752327840
2	ТА <sub>А</sub> -КА <sub>С</sub> -СВ-КА <sub>С</sub> -МСЗ	0,9999999962547	0,9999999956646
3	ТА <sub>С</sub> -КА <sub>А</sub> -СВ-КА <sub>А</sub> -МСЗ	0,9999999962547	0,9999999956646
4	ТА <sub>А</sub> -КА <sub>С</sub> -СВ-КТ	0,9999999812921	0,9999999783457
5	КА <sub>А</sub> -СВ-КА <sub>С</sub> -СВ-КА <sub>А</sub> -МСЗ-КА <sub>С</sub> -МСЗ	0,9999999999994	0,9999999999992
6	КА <sub>А</sub> -СВ-КА <sub>С</sub> -СВ-КТ	0,9999999937609	0,9999999927781
7	ТА <sub>С</sub> -КА <sub>А</sub> -СВ-КТ	0,9999999812921	0,9999999783457
8	KL	0,99850112443771	0,99842623966159
Мікропроцесорний захист			
1	ТА <sub>А</sub> -ТА <sub>С</sub>	0,99999775337205	0,99999752327840
2	AK	0,99501247919268	0,99476375716443

**Таблиця 3** – Імовірності відмови схем релейного захисту на інтервалі часу  $\Delta t$

Релейний захист	$Q(t_1)$	$Q(t_2)$	$Q(\Delta t)$
Електромеханічний	0,0015011239	0,0015762391	<b>0,0000751151</b>
Мікропроцесорний	0,0049897562	0,0052387066	<b>0,0002489504</b>

Отриманий результат підтверджує, що надійність мікропроцесорних захистів є нижчою за надійність електромеханічних захистів. Для захистів, аналогічних за місцем встановлення та за своїми функціями, імовірність відмови на відповідному інтервалі часу для мікропроцесорного захисту є втричі вищою, ніж для електромеханічного. Таким чином, питання дослідження надійності схем релейного захисту з МПРЗ набуває особливої актуальності. Але, як було зазначено вище, використовувати усереднені значення параметрів потоку відмов можна лише при проведенні порівняльного аналізу надійності. Для кількісного оцінювання надійності конкретної схеми РЗ необхідне використання статистичних даних з функціонування елементів конкретного типу, що входять у схему. Для схеми МСЗ та СВ на мікропроцесорній базі (див. рис. 1б) такими елементами є:

- трансформатор струму;
- мікропроцесорний термінал.

В [11] приведені статистичні дані з відмов трансформаторів струму. По цим даними побудовано гістограму розподілу параметру потоку відмов для часу напрацювання 25 років за виразом:

$$\omega_{TC}(t_i) = \frac{m_i}{N \cdot \Delta t}, \quad (10)$$

де  $N$  – загальна кількість трансформаторів струму за якими велось спостереження,  $m_i$  – кількість трансформаторів струму, що відмовили на  $i$ -тому інтервалі часу,  $\Delta t$  – тривалість  $i$ -того інтервалу часу.

За отриманою залежністю  $\omega_{TC}(t_i)$  будується інтегральна функція розподілу імовірності відмов трансформаторів струму:

$$F_{TC}(t) = \int_0^t \omega_{TC}(t) dt. \quad (11)$$

Отримані залежності  $\omega_{TC}(t)$  та  $F_{TC}(t)$  представлені на рис. 4.

В [12] приведені статистичні дані з відмов мікропроцесорних струмових реле для часу напрацювання 19 років. По цим даним за виразами, аналогічними виразам (10), (11) будуються залежності  $\omega_{МПРЗ}(t)$  та  $F_{МПРЗ}(t)$ . Ці залежності представлені на рис. 5.

За виразом (4) з функцій  $F_{TC}(t)$  та  $F_{МПРЗ}(t)$  визначаються імовірності безвідмовної роботи трансформаторів струму та МПРЗ в моменти часу  $t_1 = 5$  років та  $t_2 = 5,25$  років. Результати приведені в табл. 4.

Імовірності відмови схеми з МПРЗ в моменти часу  $t_1 = 5$  років та  $t_2 = 5,25$  років визначаються по даним з табл. 4 і складають  $Q_M(t_1) = 0,016482685$ ,  $Q_M(t_2) = 0,017019891$ . За виразом (7) визначається імовірність відмови схеми на інтервалі часу  $\Delta t = 3$  міс, яка складає:  $Q_M(\Delta t) = 0,000537206$ .

Отриманий результат показує, що імовірність відмови схеми РЗ на інтервалі часу, визначена за статистичною функцією, вища, ніж визначена за усередненим параметром потоку відмов. Це пояснюється тим, що обра-

ний інтервал часу відноситься до етапу припрацювальних відмов, який не враховується експоненціальним законом розподілу імовірності відмови і враховується при використанні статистичних даних з відмов розглядуваного типу обладнання.

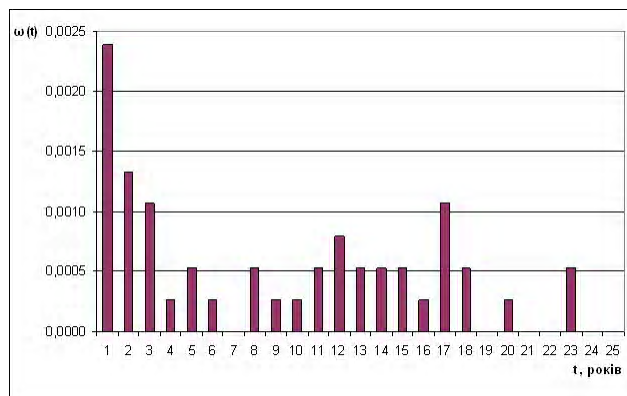
**ВИСНОВКИ**

Удосконалений метод дерева відмов для оцінювання показників надійності схем РЗ дає можливість використовувати в якості вихідної інформації як усереднені показники надійності обладнання так і статистичні показники надійності конкретного типу обладнання, що робить його придатним як для порівняльних оцінок, так і

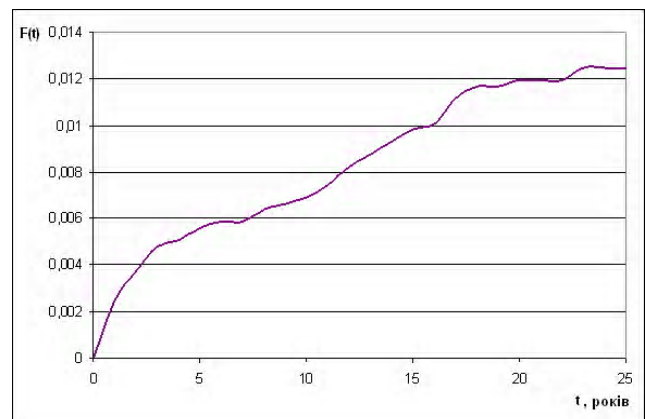
для визначення показників надійності окремих схем РЗ.

Проведений порівняльний аналіз надійності схем РЗ на електромеханічній та мікропроцесорній базах підтвердив нижчу надійність останніх через високі параметри потоків відмов мікропроцесорних терміналів.

Визначена імовірність відмови схеми струмового захисту приєднання 6 кВ Дніпровської ГЕС на мікропроцесорній базі з використанням статистичних функцій  $F(t)$ , дала більш точну оцінку надійності у порівнянні з використанням усередненого параметру потоку відмов і показала необхідність подальшого удосконалення методу шляхом врахування індивідуальних характеристик окремих одиниць обладнання схем РЗ.

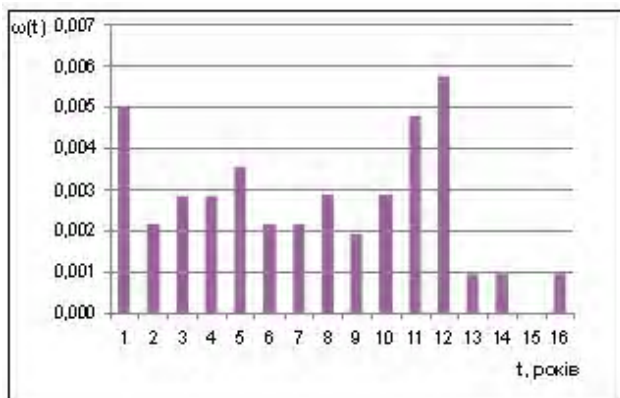


а)

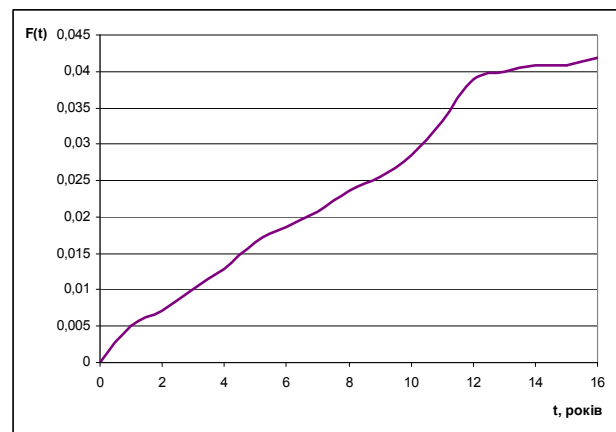


б)

**Рисунок 4** – Гістограма розподілу параметру потоку відмов (а) та інтегральна функція розподілу імовірності відмов (б) трансформаторів струму



а)



б)

**Рисунок 5** – Гістограма розподілу параметру потоку відмов (а) та інтегральна функція розподілу імовірності відмов (б) МПРЗ

**Таблиця 4** – Імовірності безвідмовної роботи елементів схеми з МПРЗ

Елемент	$F(t_1)$	$F(t_2)$	$P(t_1)$	$P(t_2)$
ТА <sub>А</sub> , ТА <sub>С</sub>	0,00557917	0,00564559	0,99442083	0,99435441
АК	0,01645207	0,01698856	0,98354793	0,98301144

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Літвінов В. В. Оцінювання надійності пристроїв релейного захисту за допомогою ієрархічних схем нечіткого виводу / В. В. Літвінов, Я. С. Саченко // Відновлена енергетика XXI століття. Матеріали XV ювілейної міжнародної науково-практичної конференції. – Київ, 2014. – С. 261–264.
- Kosterev M. V. Risk Estimation of Induction Motor Fault in Power System / M. V. Kosterev, E. I. Bardyk, V. V. Litvinov // WSEAS Transactions on Power Systems. – Issue 4. – Volume 8. – October, 2013. – P. 217–226.
- Абдурахманов А. М. Влияние продолжительности эксплуатации на отказы выключателей в высоковольтных электрических сетях / А. М. Абдурахманов, М. Ш. Мисриханов, А. В. Шунтов // Электрические станции. – 2007. – № 7. – С. 59–63.
- Саратова Н. Е. Анализ подходов к исследованию процессов протекания системных аварий / Н. Е. Саратова // Системные исследования в энергетике. Материалы конференции молодых ученых. – Иркутск: ИСЭМ, 2007. – С. 31–39.
- Гуревич В. И. Новая концепция построения микропроцессорных устройств релейной защиты / В. И. Гуревич // Компоненты и технологии. – 2010. – № 5. – С. 12–15.
- Schweitzer E. O. Reliability Analysis of Transmission Protection Using Fault Tree Methods / E. O. Schweitzer, B. Fleming, T. J. Lee, P. M. Anderson // 51st Annual Conference for Protective Relay Engineers. – Texas A&M University, College Station. – April 6-8, 1998.
- Шалин А. И. Надёжность и диагностика релейной защиты энергосистем / А. И. Шалин. – Новосибирск: НГТУ, 2002. – 384 с.
- Черняк А. А. Логико-вероятностный метод анализа надёжности многозначных систем большой размерности / А. А. Черняк // Автоматика и телемеханика. – 1998. – № 1. – С. 171–180.
- Китушин В. Г. Надёжность электрических систем / В. Г. Китушин. – М.: Высшая школа, 1984. – 256 с.
- РД 34.20.574-85. Указания по применению показателей надёжности элементов энергосистем и работы энергоблоков с паротурбинными установками: утв. ГТУ ЭЭС МЭ СССР 03.09.84. – М.: Союзтехэнерго, 1985. – 10 с.
- Лоханин А. К. Обеспечение работоспособности маслонаполненного высоковольтного оборудования после расчетного срока службы / А. К. Лоханин, В. В. Соколов // Электро. – 2002. – № 1. – С. 10–16.
- Ridwan M. I. Application of Life Data Analysis for the Reliability Assessment of Numerical Overcurrent Relays / M. I. Ridwan, K. L. Yen, A. Musa, B. Yunus // World Academy of Science, Engineering and Technology. – Volume 48. – 2010. – P. 969–975.

Стаття надійшла до редакції 30.03.2015  
Після доробки 20.04.2015

Литвинов В. В.<sup>1</sup>, Саченко Я. С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Канд. техн. наук, доцент кафедры гидроэнергетики Запорожской государственной инженерной академии, инженер цеха компьютерных технологий, релейной защиты и связи Днепровской ГЭС, Запорожье, Украина

<sup>2</sup>Магистрант кафедры гидроэнергетики Запорожской государственной инженерной академии, Запорожье Украина

#### УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНИВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ СХЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

*Усовершенствован метод дерева отказов для оценивания вероятности отказа схемы релейной защиты на интервале времени путем использования статистических функций распределения вероятности отказов элементов схемы релейной защиты. Усовершенствованный метод позволяет проводить оценку надежности схем релейной защиты с учетом характеристик отдельных типов оборудования. Проведен сравнительный анализ надежности схем релейной защиты на электромеханической и микропроцессорной элементных базах.*

**Ключевые слова:** надежность, релейная защита, вероятность, отказ, техническое состояние, дерево отказов.

Litvinov V. V.<sup>1</sup>, Sachenko Ya. S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD, Associate Professor of Hydro Power Department of Zaporizhia State Engineering Academy, Engineer of Computer Technologies, Relay Protection and Connection Department of Dnipro HPS, Zaporizhia, Ukraine;

<sup>2</sup>Master Student of Hydro Power Department of Zaporizhia State Engineering Academy, Zaporizhia, Ukraine.

#### THE IMPROVEMENT OF RELAY PROTECTION SCHEMES RELIABILITY ESTIMATION METHOD

*In paper the fault tree method for the relay protection scheme reliability estimation at the time interval is improved. The improved method can be used as input information of the following values: the averaged reliability indexes of equipment, the statistical functions of relay scheme elements of fault probability distribution and the modified statistical functions of relay scheme elements of fault probability distribution. The improved fault tree method is possible to apply both for the comparison estimations and for the risk-management problem solution. In practical part of the paper the comparison of reliability analysis of relay schemes with electromechanical relays and digital relays is presented. The obtained results show that the reliability of modern digital relay schemes is less than the reliability of electromechanical relay schemes. Also, in paper the quantity estimation of 6 kV network current protection fault probability is obtained by using the statistical functions  $F(t)$ .*

**Keywords:** reliability, relay protection, probability, fault, technical state, fault tree.

**REFERENCES**

1. Litvinov V. V., Ya. S. Sachenko Otsiniuvannia nadiinosti prystroiv releinogo zahysty za dopomogoiu ierarhichnyh shem nechitkogo vyvodu. Vidnovliuvana energetyka XXI stolittia. Materialy XV yuvileinoi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Kyiv, 2014, s. 261–264.
2. Kosterev M. V., Bardyk E. I., Litvinov V. V. Risk Estimation of Induction Motor Fault in Power System. WSEAS Transactions on Power Systems, Issue 4, Volume 8, October, 2013, pp. 217–226.
3. Abdurahmanov A. M., Misrihanov M. Sh., Shuntov A. V. Vlianie prodolzhytelnosti ekspluatatsii na otkazy vykluchatelei v vysokovoltnyh elektricheskikh setiah. Elektricheskii stantsii. 2007, No 7, pp. 59–63.
4. Saratova N. E. Analiz podkhodov k issledovaniu protsessov protekaniia sistemnykh avarii. Sistemnye issledovaniia v energetike. Materialy konferentsii molodykh uchionyh. Irkutsk, ISEM, 2007, pp. 31–39.
5. Gurevich V. I. Novaia kontseptsia postroeniia mikroprotsessornykh ustroistv releinoi zashchity. Komponenty i tehnologii, 2010, No 5, pp. 12–15.
6. Schweitzer E. O., Fleming B., Lee T. J., Anderson P. M. Reliability Analysis of Transmission Protection Using Fault Tree Methods. 51st Annual Conference for Protective Relay Engineers. Texas A&M University, College Station, April 6–8, 1998.
7. Shalin A. I. Nadiozhnost i diagnostika releinoi zashchity energosistem. Novosibirsk, NGTU, 2002, 384 s.
8. Cherniak A. A. Logiko-veroiatnostnyi metod analiza nadiozhnosti mnogoznachnykh sistem bolszoi razmernosti. Cherniak. *Avtomatika i telemehanika*, 1998, No 1, pp. 171–180.
9. Kitushin V. G. Nadiozhnost elektricheskikh sistem. Moscow. Vysshaia shkola, 1984, 256 s.
10. RD 34.20.574-85. Ukazania po primeneniiu pokazatelei nadiozhnosti elementov energosistem i raboty energoblokov s paroturbinnymi ustanovkami: utv. GTU EES ME SSSR 03.09.84, Moscow, Soiuzezhenergo, 1985, 10 s.
11. Lohanin A. K., Sokolov V. V. Obespechenie rabotosposobnosti maslonapolnennogo vysokovoltnogo oborudovaniia posle raschetnogo sroka sluzhby. Elektro, 2002, No 1, pp. 10–16.
12. Ridwan M. I., Yen K. L., Musa A., Yunus B. Application of Life Data Analysis for the Reliability Assessment of Numerical Overcurrent Relays. World Academy of Science, Engineering and Technology. Volume 48, 2010, pp. 969–975.