

Студент групи ЕС-17м  
Матвєєв А.О.

# ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ МЕРЕЖ 6-35 кВ ВИРОБНИЦТВА АВВ

Керівник: к.т.н., професор, доц. каф. ЕСС  
Рубаненко О. Є.



В даний час більшість використовуваних в Україні пристроїв РЗА розподільних електричних мереж відносяться до покоління електромеханічних і мікроелектронних реле і не відповідають сучасним науково-технічним вимогам. Один з напрямків удосконалювання - використання мікропроцесорів для виконання функцій релейного захисту й автоматики. Цифрові пристрої мають ряд переваг у порівнянні із системами, виконаними на традиційній елементній базі, у тому числі більш широкі експлуатаційні показники і можливість інтеграції їх у системи керування електроенергетичними об'єктами. Цифрові реле використовуються в системах РЗА вже більше десяти років. За цей час досягнуті високі показники надійності роботи, розроблені програмні пакети, що дозволяють інтегрувати цифрове реле в АСУ ТП. Більшість використовуваних на ОЕ України МП РЗА – закордонного виробництва. Провідні електротехнічні фірми: SIEMENS, AREWA (ALSTOM), ABB, SCHNEIDER ELECTRIC, GE розробили значну кількість ЦР захисту й автоматики.



Слід зазначити високу технологічну якість цих приладів. Але їхньому широкому застосуванню в електроенергетичних мережах України перешкоджають ряд проблем. В перших, недостатня ефективність функціонування при експлуатації в умовах вітчизняних ЕЕМ. По-друге, неможливість безпосередньої інтеграції ЦР закордонного виробництва в більшість існуючих на даний момент АСУ ТП в Україні. По-третє, висока ціна таких пристроїв. Дві перші проблеми можна вирішити шляхом розробки або поліпшення характеристик функціонування існуючих методів опрацювання вхідної інформації, створенням алгоритмів захистів і автоматики, адаптованих до умов роботи вітчизняних ЕЕМ, алгоритмів обміну інформацією з існуючими АСУ ТП. Слід зазначити, що для розподільних електричних мереж 6 – 35 кВ мікропроцесорні захисти уже в наш час успішно конкурують із закордонними аналогами. Тому комплексний характер проблеми й особливості існуючого стану електроенергетики України і РЗА зокрема, потребують впровадження методів і засобів підвищення ефективності функціонування вітчизняних МП РЗА різноманітних класів напруг.

Отже **мета роботи**, яка полягає у дослідженні особливостей мікропроцесорного релейного захисту розподільних електричних мереж 6-35 кВ виробництва АВВ є актуальною.

Для досягнення мети магістерської кваліфікаційної роботи поставлені та розв'язані наступні задачі досліджень:

- аналіз особливостей пошкоджень ЛЕП 6 – 35 кВ;
- дослідження струмів однофазних замикань;
- аналіз особливостей релейних захистів ЛЕП 6 – 35 кВ;
- дослідження особливостей мікропроцесорного захисту ЛЕП 6 – 35 кВ REF-615;
- розрахунок уставок захистів ЛЕП 10 кВ;
- дослідження особливостей людино-машинний інтерфейсу та програмного забезпечення REF-615 РСМ-600;
- визначення економічних показників впровадження мікропроцесорного захисту підстанції;
- дослідження заходів з безпечної експлуатації пристроїв релейного захисту та забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях.

## Об'єкт та предмет досліджень

**Об'єктом дослідження** є процеси, які протікають в розподільчих електричних мережах 6–35 кВ під час аварійних та аномальних режимів.

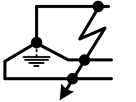
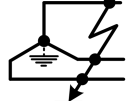
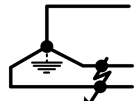
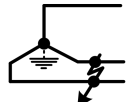
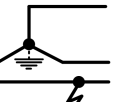
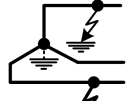
**Методи дослідження** Для аналізу однофазних та інших замикань використовувались методи теоретичних основ електротехніки; для розрахунку уставок релейних захистів використовувались методи теорій релейного захисту.

**Результати магістерської кваліфікаційної роботи** доповідались на наступних конференціях: 5 Міжнародна науково-технічна конференція земля України – потенціал продовольчої, енергетичної та екологічної безпеки держави (2016) ВНАУ, Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2016, 2017, 2018) ВНТУ, Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт з галузі "Енергетика" (II тур ; 22 березня 2017 р. ) ПДТУ.

За результатами роботи опубліковано 5 тез доповідей.

# Види пошкоджень ЛЕП 6-35 кВ

Таблиця 4.1 – Види коротких в електричних мережах 6-35 кВ

Схема замикання	Назва	Позначення
	Трифазне КЗ	$K^{(3)}$
	Трифазне КЗ на землю (має контакт на землю)	$K^{(3,з)}$
	Двофазне КЗ	$K^{(2)}$
	Двофазне КЗ на землю (має контакт на землю)	$K^{(2,з)}$
	Однофазне замикання на землю	$З^{(1)}$
	Подвійне КЗ на землю	$З^{(1+1)}$

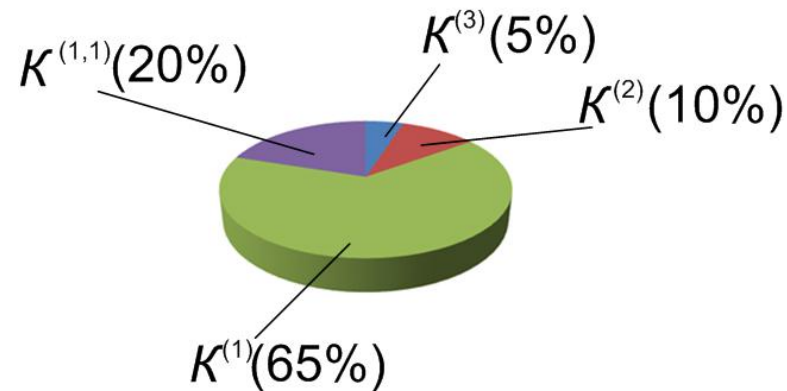


Рисунок 4.1 – Статистичні дані коротких в електричних мережах 6-35 кВ





# Схеми підключення струмового направленої захисту

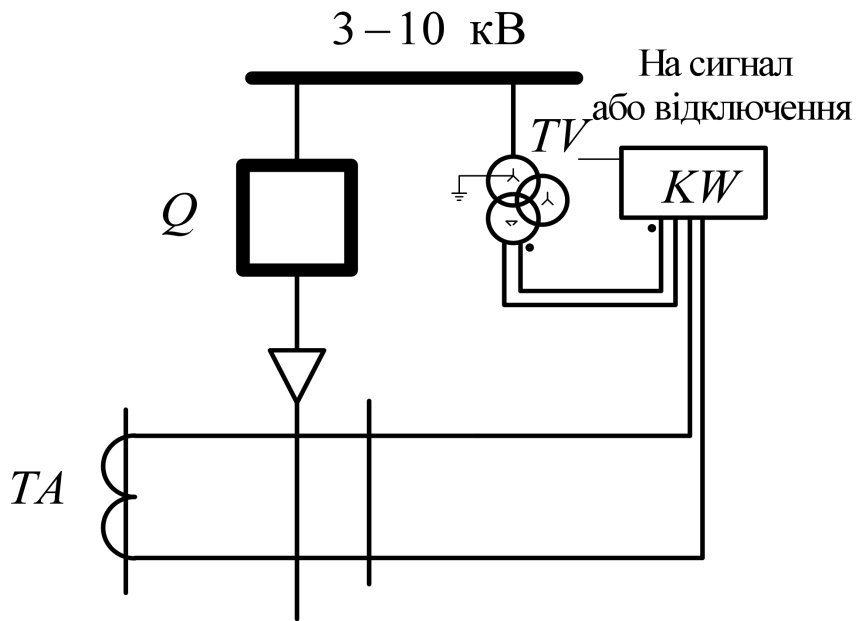


Рис. 6.1 – Схема підключення струмового направленої захисту від ОЗЗ до ТСНП і ТН

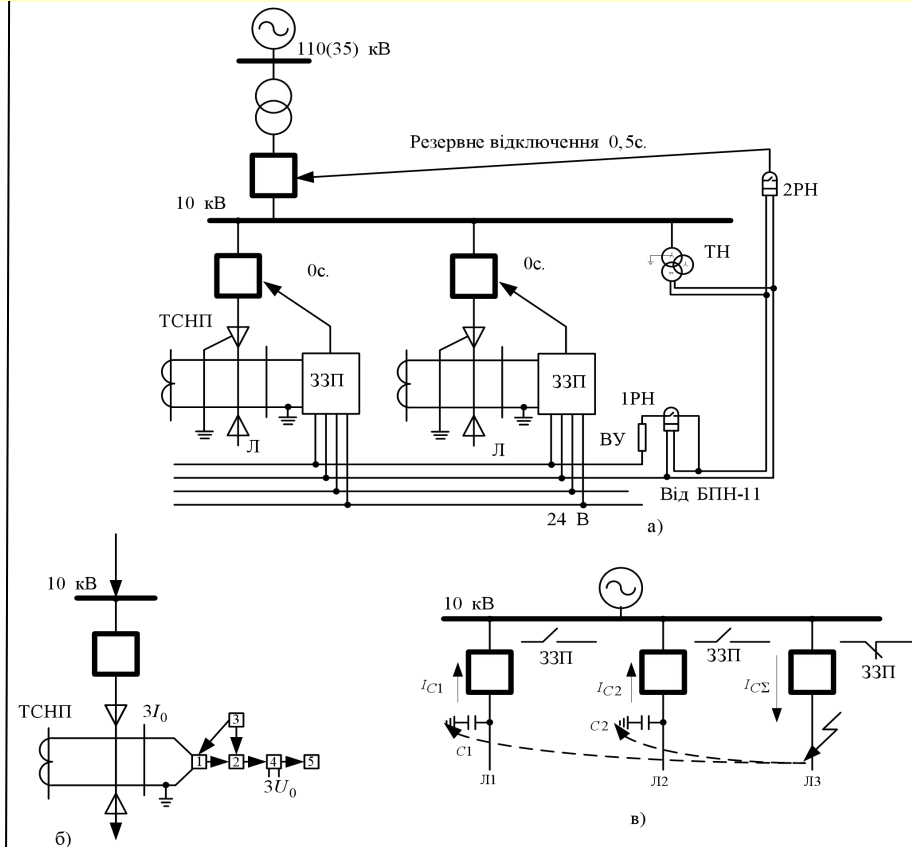


Рис.6.2 – Принципова схема включення (а), структурна схема (б) струмового направленої захисту від ОЗЗ типу ЗЗП-1М і пояснення принципу дії при ОЗЗ на одній з мережі (в)



# Функціональні можливості REF 615

В залежності від конструктивного виконання може включати наступні функції релейного захисту та протиаварійної автоматики:

- Ненаправлений максимальний струмовий захист, чотири ступені;
- Ненаправлений захист від замикань на землю;
- Ненаправлений захист від замикань на землю, (чутливий захист);
- Направлений захист від замикань на землю;
- Струмовий захист зворотної послідовності, два ступені;
- Захист від обриву фаз ;
- Виявлення кидка трифазного струму намагнічування трансформатора;
- Захист ліній і кабелів від теплового перевантаження;
- ПРВВ;
- Реле блокування вимикача з електричною фіксацією;
- АПВ;
- Дуговий захист з трьома датчиками для знаходження електричної дуги.

Даний пристрій є багатофункціональним пристроєм для захисту ліній електропередач від ряду негативних чинників та явищ.

# Розрахунок уставок релейного захисту

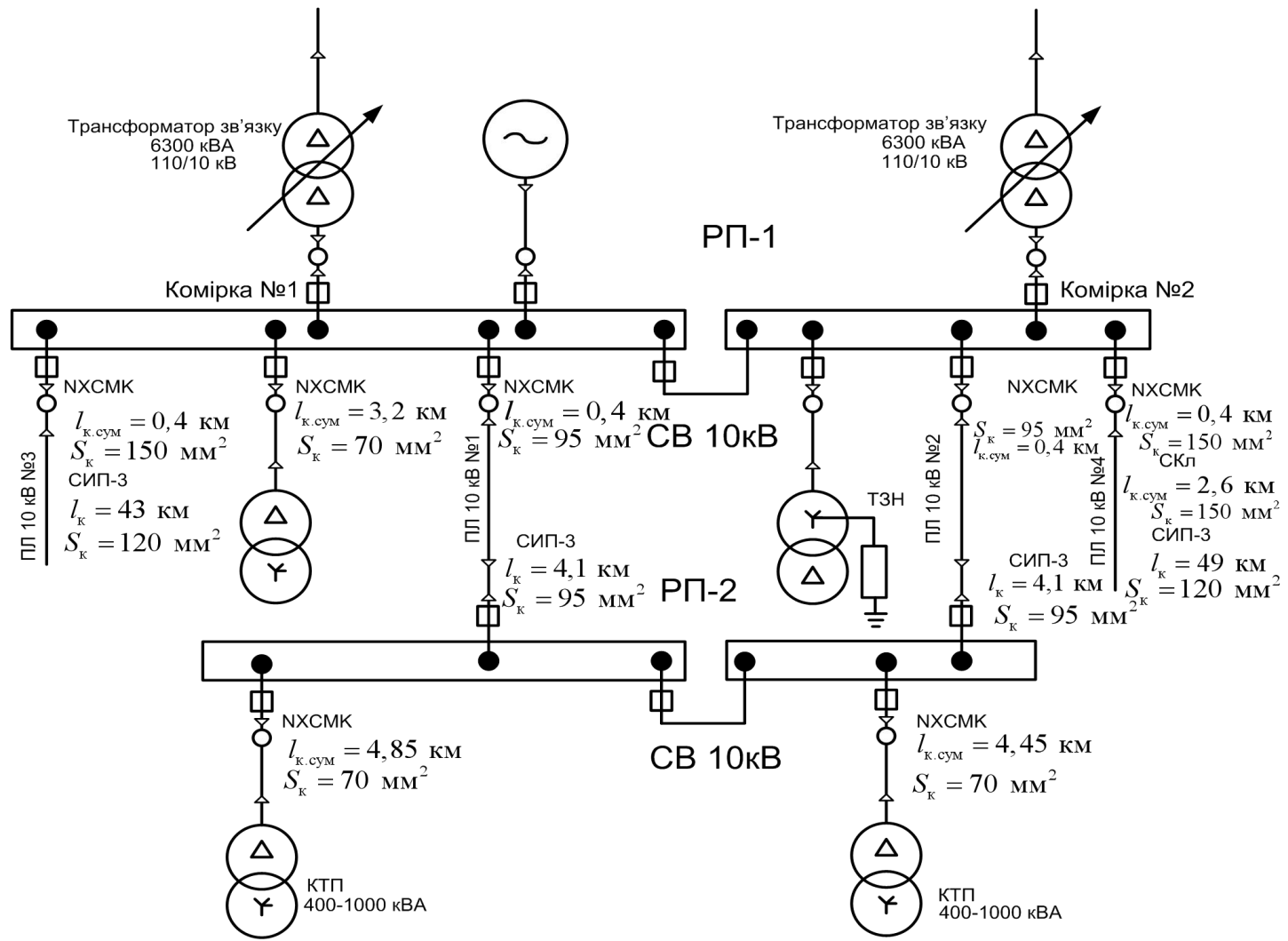


Рис. 8.1 – Приклад схеми мережі 10 кВ

# Розрахунок уставок релейного захисту. Початкові умови

8.2

У нормальному режимі роботи в РП-1 включені тільки одна ввідна лінія від енергосистеми (в нашому випадку - це введення-1, комірка № 1), секційний вимикач (СВ) 10 кВ, трансформатор з заземленням нейтралі (ТЗН). Споживачі РП-2 отримують живлення від ПЛ 10 кВ № 1, 2; СВ 10 кВ РП-2 відключений.

Також від шин РП-1 відходить ПЛ 10 кВ № 4 протяжністю 52 км, що має кабельні вставки загальною протяжністю 3 км (2,6 км - кабельна лінія типу СКЛ-3×150 і 0,4 км - НХСМК-3х150) і 4 вимикача, встановлених в лінії і рівномірно віддалених (близько 10 км) один від одного.

До шин 10 кВ РП-1 і РП-2 підключені трансформаторні підстанції з трансформаторами потужністю 400-1000 кВА (від 4 до 10 приєднань на секцію) і сумарною довжиною кабельних ліній 3,2 км для 1-ї та 2-ї секцій шин (СШ) РП-1; 4,85 км і 4,45 км відповідно для 1-ї та 2-ї СШ РП-2.

Релейний захист та автоматика (РЗА) всіх електроустановок виконана на цифрових терміналах релейного захисту та автоматики.

## Розрахунок уставок релейного захисту

Ємнісні струми повітряних ліній приєднань розраховуємо за формулою:

$$I_{СПЛ} = C_{0Л} \cdot l_{Л} \cdot \omega \cdot U_{ф.ном.}, \quad (8.1)$$

де  $C_{0Л}$  – питома ємність ЛЕП на землю ( $\Phi / \text{км}$ ) для ПЛ з ізольованими проводами типу СИП-3, розташованими на опорі по вершинах рівностороннього трикутника при відстані між фазами 400 мм;

$l_{Л}$  – довжина ПЛ, км;

$U_{ф.ном.}$  – номінальна фазна напруга мережі, В (приблизно 5700 В). Ємнісні струми кабельних ліній приєднань  $I_{СКЛ}$  визначаємо за формулою

$$I_{СКЛ} = I_{C0кл} \cdot l_{Л}, \quad (8.2)$$

де  $I_{C0кл}$  – питома ємнісний струм кабельної лінії на землю, А/км за даними заводу-виготовлювача, для КЛ перетином 150 мм<sup>2</sup> він складає 2А/км, перетином 95 мм<sup>2</sup> - 1,7 А / км, перетином 70 мм<sup>2</sup> - 1,5А/км.

Струми спрацьовування захистів розраховуємо, виходячи з відбудови захистів від власного ємнісного струму приєднання, за формулою :

$$I_{с.з.} = I_{с} \cdot k_{від.}, \quad (8.3)$$

де  $k_{від.}$  – коефіцієнт відлагодження (приймаємо рівним 1,3);

$I_{с}$  – власний ємнісний струм приєднання.

# Розрахунок уставок релейного захисту

Таблиця 8.1- Розрахункові та виміряні величини однофазних струмів замикання на землю

Назва приєднання	Р о з р а х у н к о в и х ємнісний струм, А	Виміряний ємнісний струм, А	Різниця розрахункового та виміряного струму, %
ПЛ 10 кВ №1	8,13	8,84	8
ПЛ 10 кВ №2	7,525	8,19	8
ПЛ 10 кВ №3	2,65	2,77	4
ПЛ 10 кВ №4	10,55	7,41	30

Таблиця 8.2 - Дані розрахунків струмів і уставок

Назва приєднання	Ємнісний струм, $I_c$ , А (вимірювальний)	Струм спрацювання захисту, $I_{c.3}$ , А	Коефіцієнт чутливості захистів $k_{ч.}$
ПЛ 10 кВ №1 (включень СВ 10 кВ РУ-2 і вимкнена ПЛ №2)	17,03	22,14	1,58
ПЛ 10 кВ №2 (включень СВ 10 кВ РУ-2 і вимкнена ПЛ №1)	17,03	22,14	1,58
ПЛ 10 кВ №3	2,77	3,6	9,7
ПЛ 10 кВ №4	7,41	9,6	3,6

# Актуальність економічного обґрунтування. Економічне обґрунтування впровадження удосконаленої схеми захисту

9.1

Необхідність впровадження вдосконалених схем релейних захистів може бути викликана різними причинами:

- технічним переозброєнням енергетичних об'єктів - впровадженням нового обладнання, систем АСУ в управлінні енергетичними пристроями;
- невідповідністю технічних і функціональних характеристик існуючих захистів вимогам селективності, швидкодії і чутливості для режимів роботи енергетичних об'єктів або мережі;
- фізичним зносом об'єктів;
- припиненням випуску запасних частин для діючих схем захистів;
- збільшенням числа відмов функціонування або числа ушкоджень діючих захистів.

Кожна з перерахованих причин викликає необхідність заміни діючої захисту і вимагає індивідуального економічного обґрунтування доцільності даного заходу. Вартість нового захисту визначається по рівню сучасних ринкових цін.

# Економічне обґрунтування впровадження удосконаленої схеми захисту

9.2

Кошторисна вартість нової захисту, яка включає  $K_{\text{мнж}} = t_{\text{розр}} \sum (C_{\text{роб}} \cdot \frac{3_{\text{міс}}}{T_{\text{міс}}})_j$ ,

$$K_{\text{зах}} = \sum K_i + K_{\text{МТЖ}}, \quad (9.1)$$

де  $K_i$  – вартість  $i$ -елементів, що використовуються при створенні нової схеми захисту,

$K_{\text{МТЖ}}$  – витрати на монтаж схеми, які приймаються укрупнено, в розмірі 5-7% від вартості захисту.

Поточні витрати на утримання захисту включають витрати на поточне обслуговування захисту. Ці витрати не істотні, тому можуть прийматися в розмірі 0,5-1% від вартості захисту. До складу поточних витрат також включаються амортизаційні відрахування. Таким чином, поточні витрати з експлуатації захисту включають

$$C_{\text{пот.зах}} = C_{\text{обсл.зах}} + C_a. \quad (9.2)$$

Реальний термін окупності придбання або створення нового захисту розраховується за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{зах}}}{\Delta D_E - C_{\text{пот.зах}}}. \quad (9.3)$$

$\Delta D_E = \Delta W_{\text{спож}} \cdot T_e \cdot \omega \cdot \frac{M_0}{60},$



## Економічне обґрунтування впровадження удосконаленої схеми захисту. Початкові умови

9.3

На двотрансформаторній підстанції 35/10 кВ встановлюємо релейний захист на базі мікропроцесорних реле. Ліквідна вартість старої комірки  $K_{\text{лік.зах}} = 280$  (тис. грн.) = 6000 тис. кВт·год.; тариф на електроенергію -  $\Delta W_{\text{спож}}$ . Річний обсяг відпуску електроенергії споживачам:  $T_e = 2,4$  грн. / кВт · год.; вартість нового шафи захистів  $K_{\text{зах}} = 830$  тис. грн.

На ліквідацію 11 аварій в системі енергопостачання бригадою з двох електриків було витрачено 40 год. понаднормової роботи. Середня годинна ставка двох електриків - 47,62 грн. / год. Вартість одного виїзду до місця аварії 500 грн.

Під час монтажу працювало 1 інженер та 8 електриків, час монтажу та налагодки захистів підстанції склало 34 днів. Заробітна плата інженера та електриків складає 8000 гривень.

# Економічне обґрунтування впровадження удосконаленої схеми захисту

9.4

1. Визначаємо річні поточні витрати ( $C_{\text{пот.зах}}$ ) на експлуатацію нового захисту при нормі витрат на поточне обслуговування  $H_{\text{обс}} = 0,5\%$  та при гарантованому терміні експлуатації нового мікропроцесорного захисту  $t_{\text{сл}} = 12$  років.

$$C_{\text{обс}} = 946,571 \cdot \frac{0,5}{100} = 4,733 \text{ тис.грн.} \quad C_a = \frac{946,571}{12} = 69,16 \text{ тис.грн.}$$

$$C_{\text{пот.зах}} = 83,613 \text{ тис.грн.}$$

2. Визначаємо збитки від недовідпуск електроенергії при відмові старого захисту  $\Delta D_e = 6000 \cdot 2,4 \cdot 2 \cdot \frac{120}{60} = 57,6 \text{ тис.грн.}$

3. Визначаємо витрати на ліквідацію аварій  $C_{\text{тр}} = 500 \cdot 11 = 5,5 \text{ тис.грн.}$

$$C_{\text{зп}} = 2 \cdot 47,62 \cdot 40 = 3,8096 \text{ тис.грн.} \quad U_{\text{лкв}} = 3,8096 + 5,5 + 280 = 289,3096 \text{ тис.грн.}$$

4. Визначаємо термін окупності установки нової шафи захисту, років:

$$T_{\text{ок}} = \frac{946,571}{289,3096 - 83,613} = 4,6 \text{ років.}$$

Розрахунки економічних показників заміни застарілого електро-механічного релейного захисту на новий мікропроцесорний захист термін окупності такої заміни 4,6 роки. Отже такі заходи економічно виправдані.

1. За результатами аналізу пошкоджуваності ЛЕП в електроенергетичних системах України та інших країн світу на повітряних лініях (ПЛ) 6÷35 кВ, що працюють в мережі з ізольованою нейтраллю, одним з найбільш частих видів пошкоджень є однофазне замикання на землю (ОЗЗ).

2. За результатами дослідження електричні мережі 6÷35 кВ України працюють, як правило, з ізольованою або компенсованою нейтраллю, значення струмів однофазного замикання на землю (ОЗЗ) невеликі, вони не перевищують 20÷30 А. Тому мережі цих класів напруги традиційно називають мережами з малим струмом замикання на землю.

3. За результатами аналізу найбільш прості в експлуатації направлені струмові захисти від ОЗЗ застосовуються в системах електропостачання власних потреб електростанцій, а більш складні направлені захисти – в системах електропостачання гірничо-металургійних підприємств.

4. Проведені дослідження особливостей мікропроцесорного захисту ЛЕП 6 – 35 кВ REF-615 свідчать про те, що цей пристрій захисту розроблений для селективного струмового захисту від коротких замикань, для максимального струмового захисту та для захисту від замикань на землю.

5. Отримані в роботі результати розрахунку уставок захистів ЛЕП 10 кВ свідчать про те що, струм спрацювання захисту ЛЕП  $I_{c.з.} = 25$  А, час спрацювання захисту  $T_{c.з.} = 1,7$  сек.

6. Розрахунки економічних показників заміни застарілого електро-механічного релейного захисту на новий мікропроцесорний захист на прикладі двотрансформаторної підстанції 35/10 кВ свідчать про те, що термін окупності такої заміни 4,6 роки. Отже такі заходи економічно виправдані.

7. Проведений аналіз літератури та нормативної документації з охорони праці та виконані розрахунки дозволили:

- провести аналіз умов праці при виконанні робіт пов'язаних з монтажем релейного захисту та автоматики, які працюють в складі електроенергетичної системи України ;
- розробити організаційно-технічні рішення з охорони праці при електричному монтажі релейного захисту.

*Доповідь закінчена.  
Дякую за увагу.*