

УДК 621.311

**Р.О. Буйний**, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ОБЛАСТІ ВИКОРИСТАННЯ СХЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ РОЗПОДІЛЬНИХ УСТАНОВОК НАПРУГОЮ 330-750 кВ СИСТЕМНИХ ПІДСТАНЦІЙ З ЕЛЕГАЗОВИМИ ВИМИКАЧАМИ І КРУЕ**

*Розглянуто особливості використання схем електричних з'єднань розподільних установок системних підстанцій напругою 330-750 кВ та обґрунтовано область їх використання у разі застосування елегазових вимикачів і КРУЕ.*

**Ключові слова:** *схема електричних з'єднань, розподільна установка, КРУЕ, системна підстанція.*

*Рассмотрены особенности использования схем электрических соединений распределительных устройств системных подстанций напряжением 330-750 кВ и обоснована область их использования в случае применения элегазовых выключателей и КРУЭ.*

**Ключевые слова:** *схема электрических соединений, распределительное устройство, КРУЭ, системная подстанция.*

*The features of the use of circuit of electric connections in the distributive devices of system substations are considered by 330-750 kV and the area of their use is reasonable in case of application of SF6-breaker and GIS.*

**Key words:** *electric circuit, distributive device, GIL, power substation.*

**Вступ.** В [1; 2] обґрунтовано перелік схем електричних з'єднань розподільних установок підстанцій (РУ ПС) напругою 110 кВ і більше з використанням елегазових вимикачів і елегазових РУ (КРУЕ), а також область використання цих схем за економічними критеріями. Проте критерій економічності ПС (мінімуму витрат на спорудження з урахуванням вартості землі) не завжди є вирішальним при виборі тієї чи іншої схеми, особливо на надвисоких напругах, де вагомий внесок здійснюють експлуатаційні витрати та зношувальність ресурсу комутаційної апаратури. Тому обґрунтування схем РУ на надвисоких напругах (330-750 кВ) потребує додаткових досліджень.

**Основні матеріали дослідження.** В [1; 2] показано, що для РУ напругою 330-750 кВ системних ПС з елегазовими вимикачами і КРУЕ доцільно використовувати три схеми, які задовольняють вимозі стійкості енергосистеми:

- 1) схему «330(500,750)-10» – трансформатори-шини з приєднанням ліній через два вимикачі;
- 2) схему «330(500,750)-11» – полуторну;
- 3) схему «330(500,750)-11М» – полуторну з приєднанням автотрансформаторів без вимикачів до шин.

Результати розрахунку ймовірностей безвідмовної роботи цих схем з елегазовими вимикачами і КРУЕ розраховані за методикою, викладеною в [2], зведені в таблицю 1.

Використовуючи укрупнені показники вартості [3], отримано залежності вартості одного приєднання в схемах «330(500,750)-10», «330(500,750)-11» і «330(500,750)-11М» з елегазовими вимикачами і КРУЕ (рис. 1-3).

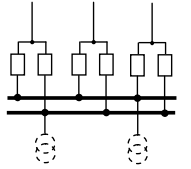
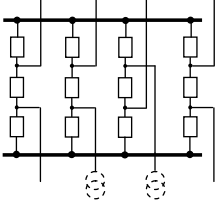
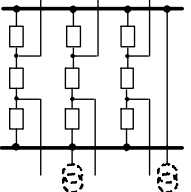
З цих трьох схем найекономічнішою є схема «330(500,750)-11М» за будь-якої кількості лінійних приєднань [2] (рис. 1-3). Проте вона не може бути застосована при 2-х лінійних приєднаннях, оскільки не буде забезпечувати нормальну роботу енергосистеми у разі відключення одного з приєднань.

Слід зазначити, що у кожній з наведених схем при пошкодженні на шинах або при пошкодженні автотрансформатора буде спрацьовувати різна кількість вимикачів, яка залежить від кількості приєднань у схемі. Тому для визначення кількості лінійних приєднань, за якої доцільно використовувати ту чи іншу схему, введемо термін «**зношування комутаційного ресурсу вимикачів схеми**», під яким будемо розуміти кількість відключень вимикачів у схемі за рік. Кращою буде та схема, у якої буде мінімальне зношування комутаційного ресурсу під час відключень вимикачів у разі пошкодження шин і автотрансформаторів.

У таблиці 2 наведено кількість вимикачів, що буде одночасно спрацьовувати у схемах РУ системних ПС.

Таблиця 1

*Ймовірності безвідмовної роботи схем електричних з'єднань системних ПС*

Шифр схеми	Назва схеми	Умовне зображення схеми	Ймовірність безвідмовної роботи схеми протягом року з вимикачами, передача від ВН до НН / транзит через РУ ВН		
			масляними (повітряними)	елегазовими	КРУЕ
330-10 500-10 750-10	Трансформатор-шини з приєднанням ліній через два вимикачі		$\frac{0,999985}{0,9187}$	$\frac{0,999998}{0,984}$	$\frac{0,9999998}{0,9985}$
330-11 500-11 750-11	Полуторна		$\frac{1}{0,9909}$	$\frac{1}{0,9997}$	$\frac{1}{0,999997}$
330-11M 500-11M 750-11M	Полуторна з приєднанням автотрансформаторів без вимикачів до шин		$\frac{1}{0,9893}$	$\frac{1}{0,99923}$	$\frac{1}{0,999982}$

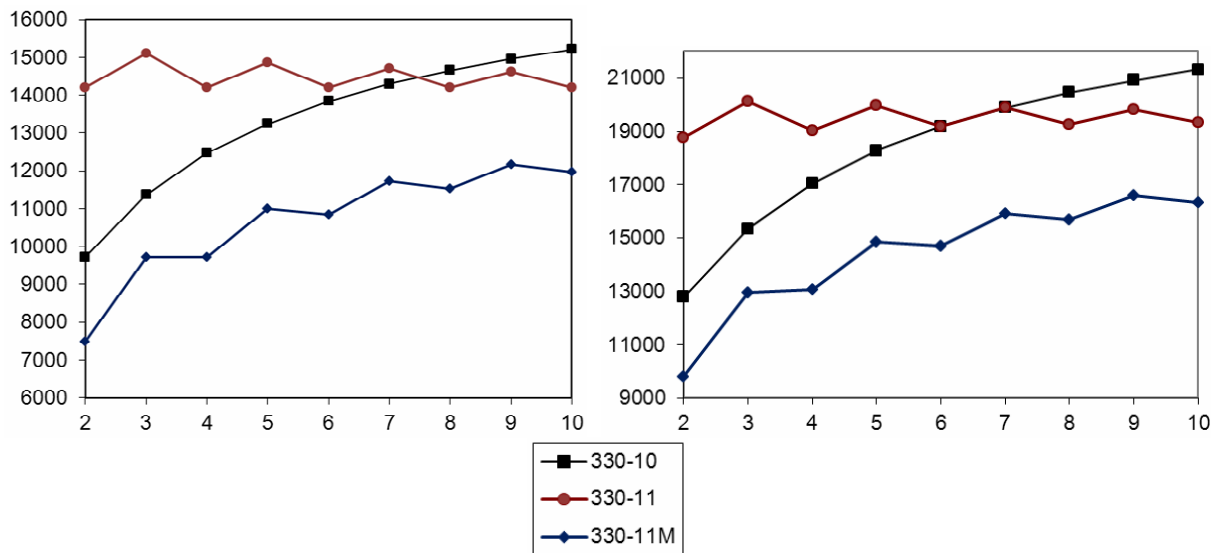


Рис. 1. Залежність вартості одного приєднання (у тис. грн) від кількості лінійних приєднань у схемах «330-10», «330-11» і «330-11М» з елегазовими вимикачами (а) і КРУЕ (б)

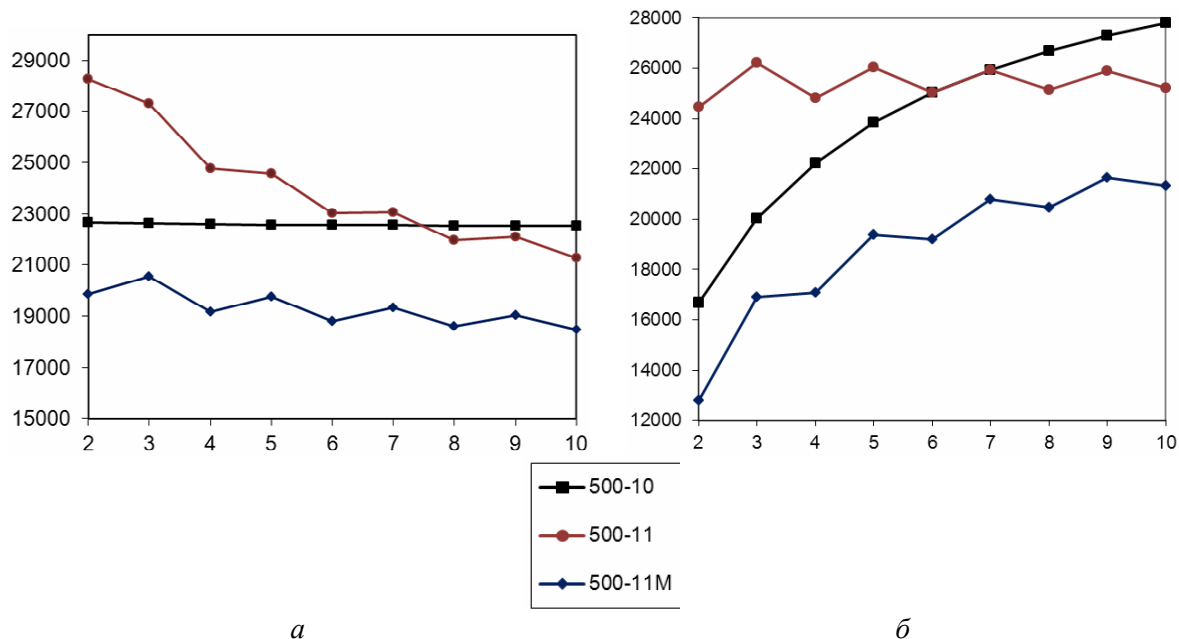


Рис. 2. Залежність вартості одного приєднання (у тис. грн) від кількості лінійних приєднань у схемах «500-10», «500-11» і «500-11М» з елегазовими вимикачами (а) і КРУЕ (б) (без урахування вартості шунтувальних реакторів)

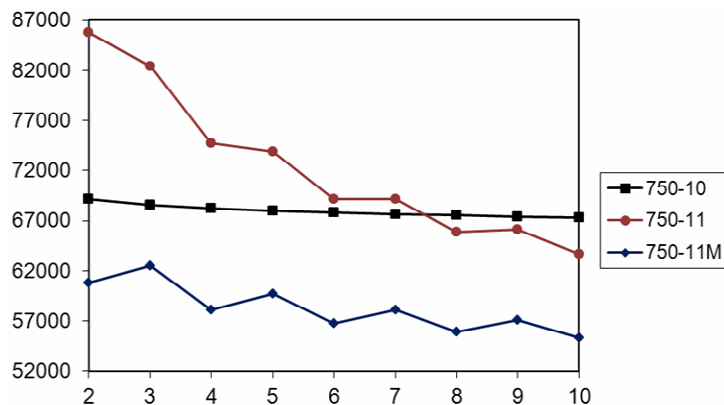


Рис. 3. Залежність вартості одного приєднання (у тис. грн) від кількості лінійних приєднань у схемах «750-10», «750-11» і «750-11М» з елегазовими вимикачами (без урахування вартості шунтувальних реакторів)

Таблиця 2

Кількість вимикачів, що одночасно спрацьовує у схемах РУ системних ПС у разі пошкодження збірних шин та автотрансформаторів

Номер схеми	Кількість вимикачів, що одночасно спрацьовує у разі пошкодження збірних шин/автотрансформатора, шт за кількості лінійних приєднань:								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
«10»	$\frac{2}{2}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{8}{8}$	$\frac{9}{9}$	$\frac{10}{10}$
«11»	$\frac{2}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{4}{2}$	$\frac{4}{2}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{6}{2}$	$\frac{6}{2}$
«11М»	$\frac{2}{2}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{5}{5}$

Використовуючи частоту відмов збірних шин та автотрансформаторів для схем з відкритими РУ (ВРУ) і елементів КРУЕ напругою 330-750 кВ [1] та кількість вимика-

чів, що буде одночасно спрацьовувати у вищенаведених схемах системних ПС у разі пошкодження збірних шин та автотрансформатора (таблиця 2), розраховано **зношування комутаційного ресурсу** схем «10», «11» і «11М» за формулами:

$$H_{Ш} = \omega_{0Ш} \cdot (n_L + n_T) \cdot N_{Ш},$$

$$H_{АТ} = \omega_{АТ} \cdot N_{АТ},$$

де  $n_L$ ,  $n_T$  – кількість лінійних та трансформаторних приєднань до збірної шини, шт;

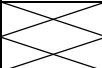
$\omega_{0Ш}$ ,  $\omega_{АТ}$  – частота відмов шини на одне приєднання до неї та автотрансформатора відповідно, рік-1;

$N_{Ш}$ ,  $N_{АТ}$  – максимальна кількість вимикачів, що можуть одночасно спрацьовувати у схемі при пошкодженні збірних шин та автотрансформатора відповідно (без урахування форс-мажорів: неспрацьовування одного з вимикачів), шт.

Результати розрахунків зведено до таблиць 3-4.


Таблиця 3

*Зношування комутаційного ресурсу вимикачів у схемах РУ системних ПС з елегазовими вимикачами*

Номер схеми	Зношування комутаційного ресурсу вимикачів у разі пошкодження збірних шин/автотрансформатора, шт·разів/рік за кількості лінійних приєднань:								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
«10»	<u>0,06</u> 0,1	<u>0,12</u> 0,15	<u>0,2</u> 0,2	<u>0,3</u> 0,25	<u>0,42</u> 0,3	<u>0,56</u> 0,35	<u>0,72</u> 0,4	<u>0,9</u> 0,45	<u>1,1</u> 0,5
«11»	<u>0,04</u> 0,1	<u>0,09</u> 0,1	<u>0,09</u> 0,1	<u>0,16</u> 0,1	<u>0,16</u> 0,1	<u>0,25</u> 0,1	<u>0,25</u> 0,1	<u>0,36</u> 0,1	<u>0,36</u> 0,1
«11М»		<u>0,06</u> 0,1	<u>0,06</u> 0,1	<u>0,12</u> 0,15	<u>0,12</u> 0,15	<u>0,2</u> 0,2	<u>0,2</u> 0,2	<u>0,3</u> 0,25	<u>0,3</u> 0,25

Таблиця 4

*Зношування комутаційного ресурсу вимикачів у схемах РУ системних ПС з КРУЕ*

Номер схеми	Зношування комутаційного ресурсу вимикачів у разі пошкодження збірних шин/автотрансформатора, шт·разів/рік за кількості лінійних приєднань:								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
«10»	<u>0,015</u> 0,1	<u>0,03</u> 0,15	<u>0,05</u> 0,2	<u>0,075</u> 0,25	<u>0,105</u> 0,3	<u>0,14</u> 0,35	<u>0,18</u> 0,4	<u>0,225</u> 0,45	<u>0,275</u> 0,5
«11»	<u>0,01</u> 0,1	<u>0,0225</u> 0,1	<u>0,0225</u> 0,1	<u>0,04</u> 0,1	<u>0,04</u> 0,1	<u>0,0625</u> 0,1	<u>0,0625</u> 0,1	<u>0,09</u> 0,1	<u>0,09</u> 0,1
«11М»		<u>0,015</u> 0,1	<u>0,015</u> 0,1	<u>0,03</u> 0,15	<u>0,03</u> 0,15	<u>0,05</u> 0,2	<u>0,05</u> 0,2	<u>0,075</u> 0,25	<u>0,075</u> 0,25

На рисунках 4-5 зображені залежності зношування комутаційного ресурсу від кількості лінійних приєднань для схем «10», «11» та «11М» з елегазовими вимикачами і КРУЕ у разі пошкодження збірних шин і автотрансформаторів.

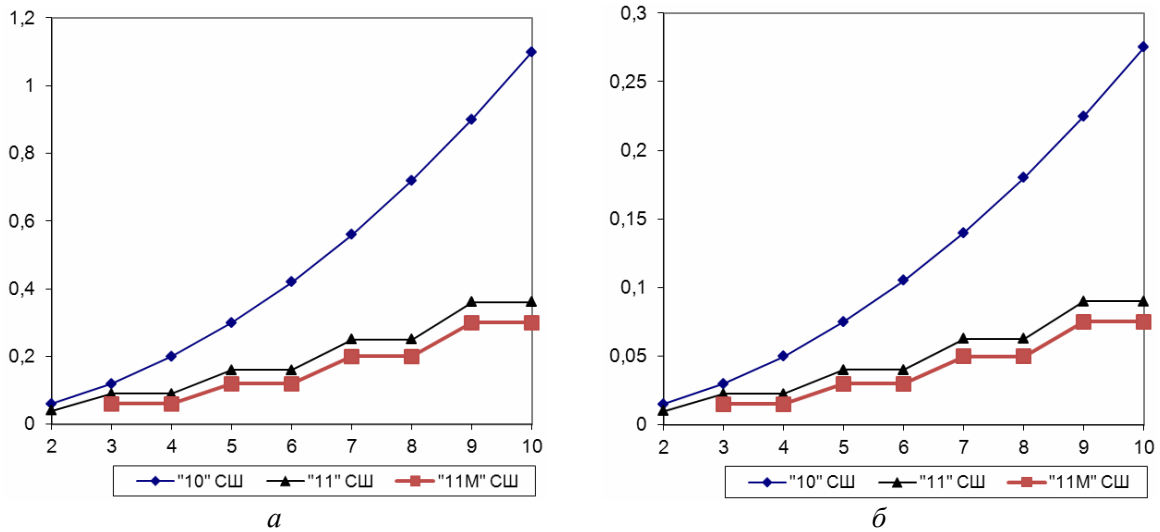


Рис. 4. Зношування комутаційного ресурсу для схем «10», «11» та «11М» з елегазовими вимикачами (а) і КРУЕ (б) залежно від кількості лінійних приєднань при пошкодженні збірних шин

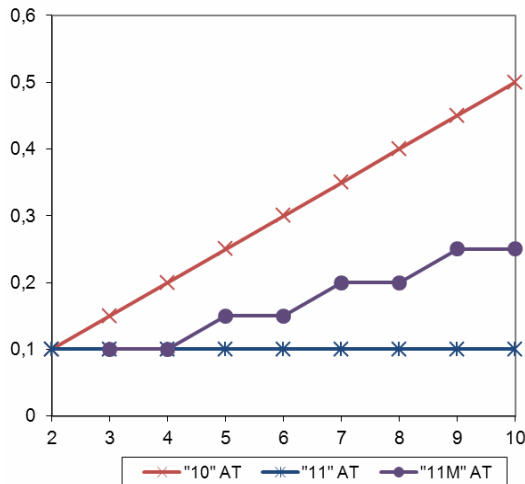


Рис. 5. Зношування комутаційного ресурсу для схем «10», «11» та «11М» з елегазовими вимикачами і КРУЕ залежно від кількості лінійних приєднань при пошкодженні автотрансформаторів

З рисунків 4-5 видно, що для випадку пошкодження збірних шин при 2-х лінійних приєднаннях мінімальне зношування ресурсу має схема «11», а при 3-х і більше – схема «11М». У випадку пошкодження автотрансформатора при 2-х лінійних приєднаннях мінімальне зношування ресурсу мають схеми «10» і «11», при 3-4-х – схеми «11» і «11М», а при 5-х і більше – схема «11».

У таблиці 5 наведено кількість лінійних приєднань, за якої доцільно використовувати одну з трьох схем для РУ системних ПС з елегазовими вимикачами та КРУЕ за різними критеріями.

Таблиця 5

Найдоцільніша схема для РУ системних ПС з елегазовими вимикачами і КРУЕ за різними критеріями

Кількість приєднань	Шифр найдоцільнішої схеми		
	За економічними міркуваннями	У разі пошкодження збірних шин	У разі пошкодження автотрансформатора
2	«10»	«11»	«10» = «11»
≥3	«11М»	«11М»	–
3-4	–	–	«11» = «11М»
≥5	–	–	«11»

Оскільки пошкодження трансформаторів бувають частіше, ніж збірних шин, то можна зробити такі висновки.

**Висновки.** Для РУ напругою 330-750 кВ системних ПС з елегазовими вимикачами або КРУЕ слід використовувати за кількості лінійних приєднань:

- 2 – схему «330(500,750)-10» – трансформатори-шини з приєднанням ліній через два вимикачі;
- 3-4 – схему «330(500,750)-11» – полуторну;
- ≥5 – схему «330(500,750)-11М» – полуторну з приєднанням автотрансформаторів без вимикачів до шин.

#### Список використаних джерел

1. Обґрунтування переліку схем електричних з'єднань розподільних установок підстанцій напругою 110 кВ і більше з використанням елегазових вимикачів і КРУЕ / Р. О. Буйний, В. В. Зорін, А. О. Квицинський, В. П. Ключко // Енергетика та електрифікація. – 2012. – № 2. – С. 36-44.
2. Буйний Р. О. Обґрунтування області використання схем електричних з'єднань розподільних установок підстанцій напругою 110 кВ і більше з елегазовими вимикачами і КРУЕ за економічними критеріями / Р. О. Буйний, В. В. Зорін, А. О. Квицинський // Енергетика та електрифікація. – 2012. – № 6. – С. 13-21.
3. СТО 56947007-29.240.014-2008. Укрупненні показателі стоимости сооружения (реконструкции) подстанций 35-750 кВ и линий электропередачи напряжением 6,10-750 кВ.

УДК 331.45:621.316.9

**Н.М. Денисова**, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕНЯ ПРОФЕСІЙНОГО РИЗИКУ ПРАЦІВНИКІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ

*На основі аналізу умов праці працівників електроенергетичних підприємств запропоновано введення системного аналізу виробничих небезпек для оцінювання професійного ризику.*

**Ключові слова:** нещасний випадок, професійний ризик, показник-ризик.

*На основании анализа условий труда работников электроэнергетических предприятий предложено введение системного анализа производственных опасностей с целью оценки профессионального риска.*

**Ключевые слова:** несчастный случай, профессиональный риск, риск-показатель.

*Based on the analysis of working conditions prompted the introduction of electric utilities production system analysis to assess the risks of occupational exposure.*

**Key words:** accident, occupational risk, the risk indicator.

**Вступ.** Сучасне життя нерозривно пов'язане з використанням електроенергії. В умовах експлуатації потужних енергосистем, електричних машин і апаратів, розвитку обчислювальної техніки й приладобудування, роботизації та комп'ютеризації виробництва важливого значення набуває проблема в електробезпеці – захисті електротехнічного персоналу та інших осіб, які обслуговують електроустаткування від ураження електричним струмом.

Аналіз загальної кількості виробничих нещасних випадків свідчить, що кількість електротравм становить 1,0-1,5 %, а в енергетиці навіть 3-5 %. Але серед нещасних випадків зі смертельним наслідком електротравмами становлять 20-40 % на виробництві, а в енергетиці до 60 %, займаючи одне з перших місць. При цьому 60-85 % смертельних уражень електричним струмом відбувається в електроустановках напругою до 1000 В (127-380 В), причинами у 75-80 % є „людський фактор”.

**Постановка проблеми.** Дослідження професійних ризиків зв'язано в першу чергу зі становленням страхових механізмів обов'язкового соціального страхування від нещасних випадків та професійних захворювань та формуванням пенсійних систем. Так, згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 59 від 20.12.2011“Про затверджен-