

## ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ КОМПАКТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 КВ

Ерхан Ф. М.<sup>1</sup>, Постолатий В. М.<sup>2</sup><sup>1</sup>Институт Энергетики Академии Наук Молдовы  
<sup>2</sup>Государственный Аграрный Университет Молдовы

Статья посвящена анализу и оценке надежности компактных и классических линий электропередачи напряжением 10кВ с учетом их конструктивных особенностей, технических параметров и эффективности.

**Постановка проблемы**

Проблемы, связанные с повышением надежности, снижением потерь энергии и повышением пропускной способности в распределительных сетях 10кВ продолжают оставаться актуальными. Одним из вариантов частичного решения таких проблем является использование компактных линий электропередачи, рис.1

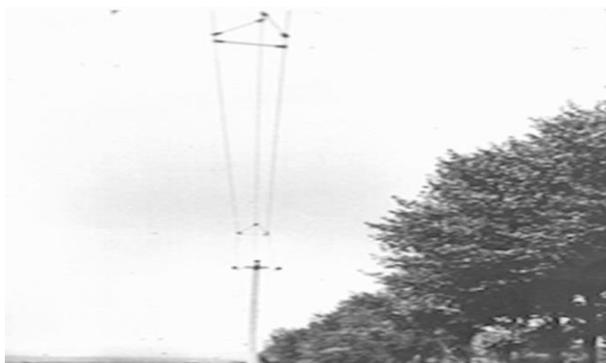


Рисунок 1 – Общий вид компактных линий электропередачи напряжением 10кВ

Необходимо отметить, что компактные линии электропередачи были внедрены в 70-ые годы XX века в нескольких районных электрических сетях Молдавской электроэнергетической системы. В Страшенских распределительных электросетях эксплуатировалось 16 км компактных линий, в Оргеевских - 12 км. Такие же линии были внедрены в Хынчештских, Ниспоренских, Ново-Аненских, Яловенских районных электрических сетях. Общая протяженность таких электропередач для указанных районов составила около 80 км, а в целом по Молдове - около 600 км.

**Раскрытие проблемы**

Компактные электрические линии электропередачи 10кВ обладают рядом преимуществ по сравнению с классическими линиями такого же уровня напряжений. Эти преимущества вызваны тем, что междуфазовое расстояние ( $l$ ) у компактных линий составляет  $l = 0,4$  м, а у классических линий  $l = 0,9$  м, в результате чего снижается продольное индуктивное сопротивление.

Такие линии были созданы с использованием стержневых изоляторов типа АС-1500-400 УХЛ длиной  $l = 0,4$  м, рис.1. Принципиальная схема замещения таких линий представлена на рис.2.

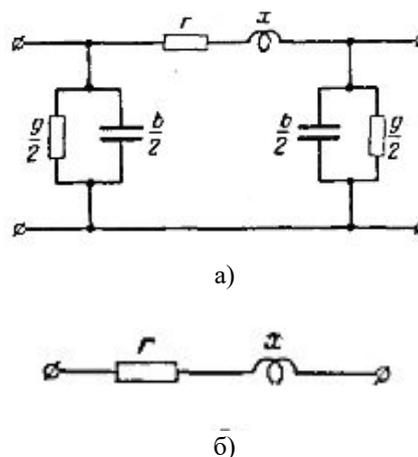


Рисунок 2 – Принципиальная схема замещения компактных линий

При выполнении аналитических расчетов ЛЭП 10кВ проводимости  $g$  и  $b$  (рис. 2, а) можно не учитывать, и применять более простую схему замещения, состоящую из последовательно соединенных активного ( $r$ ) и индуктивного ( $x$ ) сопротивлений (рис. 2, б).

В соответствии с [1] известно, что погонное удельное индуктивное сопротивление ( $x_0$ ) линий электропередачи является функцией и от расстояния ( $a$ ) между проводами соответствующих фаз.

Для трехфазных линий электропередачи с транспозицией проводов, при частоте 50 Гц, индуктивное сопротивление фазы на 1 км длины линии можно определить согласно уравнению (1)

$$x_0 = 0,144 \lg 2 \frac{a_{cp}}{d} + 0,016 \cdot \mu = x_0' + x_0'', \quad (1)$$

где:  $a_{cp}$  – среднее геометрическое расстояние между осями проводов фаз, которое определяется согласно (2)

$$a_{cp} = \sqrt[3]{a_{12} \cdot a_{23} \cdot a_{31}}, \quad (2)$$

где:  $a_{12}, a_{23}$  и  $a_{31}$  – расстояния между осями проводов составляющих фаз;

$d$  – наружный диаметр проводов, принимаемый по таблицам ГОСТ на провода;

$\mu$  – относительная магнитная проницаемость металла провода. Для проводов из цветного металла  $\mu=1$ ;

$x_0'$  – внешнее индуктивное сопротивление линии, обусловленное магнитным потоком вне провода;

$x_0''$  – внутреннее индуктивное сопротивление линии, обусловленное магнитным потоком, замыкающимся внутри провода.

Индуктивное сопротивление линии длиной ( $l$ ) км определяется согласно уравнению (3)

$$x = x_0 \cdot l. \quad (3)$$

Продольное удельное индуктивное сопротивление у компактных линий электропередачи ( $x_{0K}$ ) меньше, чем у линий электропередачи классического исполнения. Это можно описать неравенством ( $x_{0K} < x_0$ ), [2]

Согласно [2], именно это явление (уменьшение индуктивного сопротивления) приводит к тому, что потери напряжения ( $\Delta U$ ) и энергии ( $\Delta W$ ) в таких линиях меньше, чем в линиях классического исполнения и, следовательно, такие ЛЭП обладают более высокой пропускной способностью.

В процессе длительной эксплуатации компактных распределительных электрических линий напряжением 10кВ была определена их высокая эксплуатационная надежность. Далее выполнено сравнение ряда параметров для компактных линий и классических линий электропередачи такого же класса напряжения, в соответствии с правилами, представленными в [3].

Общая характеристика потока отказов в распределительных сетях классического исполнения и компактных линий приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика потока отказов ЛЭП в распределительных сетях напряжением 10кВ

Сектор	Район	Поток отказов							
		Непредвиденные аварийные отказы	%	Плановые отключения	%	Плановые переключения	%	Общее Число отключений	%
Новые-Анены	Новые-Анены	25	6,5	16	3,1	12	3,3	53	4,2
	Хынчешты	34	8,8	35	6,8	17	4,7	86	6,8
	Яловены	26	6,8	17	3,3	15	4,1	58	4,6
	Компактные линии	0	0	3	0,12	2	0,08	5	0,123
	<b>Всего</b>	<b>85</b>	<b>7,36</b>	<b>71</b>	<b>3,33</b>	<b>46</b>	<b>3,045</b>	<b>202</b>	<b>3,93</b>
Оргеев	Каларашы	8	2,1	20	3,9	7	1,9	35	2,8
	Ниспорены	15	3,9	7	1,4	6	1,6	28	2,2
	Оргеев	12	3,1	15	2,9	1	0,3	28	2,2
	Страшены	25	6,5	36	7,0	15	4,1	76	6,0
	Компактные линии	0	0	2	0,06	3	0,09	5	0,095
	<b>Всего</b>	<b>60</b>	<b>3,9</b>	<b>80</b>	<b>3,82</b>	<b>32</b>	<b>2,0</b>	<b>172</b>	<b>3,32</b>
<b>Всего по рассматриваемой системе</b>		<b>145</b>	<b>11,26</b>	<b>151</b>	<b>7,15</b>	<b>78</b>	<b>5,045</b>	<b>1261</b>	<b>7,25</b>

Отключения компактных линий осуществлялись только в плановом режиме, а аварийные не были зарегистрированы.

Распределение потока непредвиденных и плановых отказов распределительных сетей классического исполнения и компактных линий напряжением 10кВ в течение года эксплуатации представлено на рис.3.

Распределение потока непредвиденных и плановых отказов ЛЭП классического исполнения и компактных линий в распределительных сетях в течение месяца эксплуатации представлено на рис.4.

**Общая характеристика показателей эксплуатационной надежности компактных линий.** Нормативные величины показателей эксплуатационной надежности распределительных сетей, согласно постановлению НАРЕ №292 от 23.06.2008, для линий электропередач классического исполнения и для компактных линий, представлены в таблице 2, [4].

На основе статистического материала об аварийных отказах линий электропередачи 10 кВ в распределительных сетях, было определено общее количество отказов, рис.5.

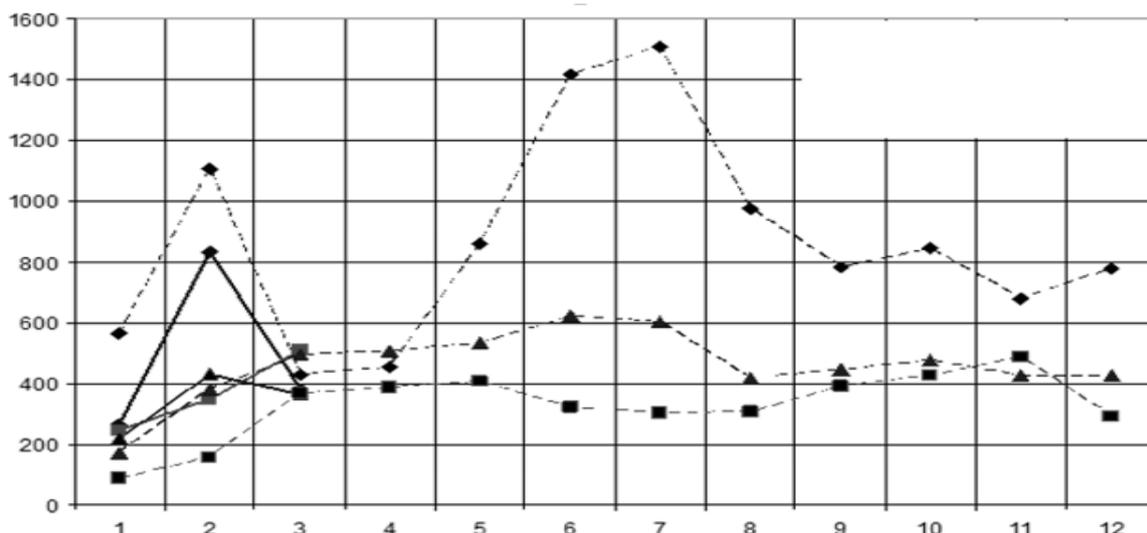


Рисунок 3 – Распределение потока непредвиденных и плановых отказов ЛЭП классического исполнения и компактных линий в распределительных сетях в течение года эксплуатации

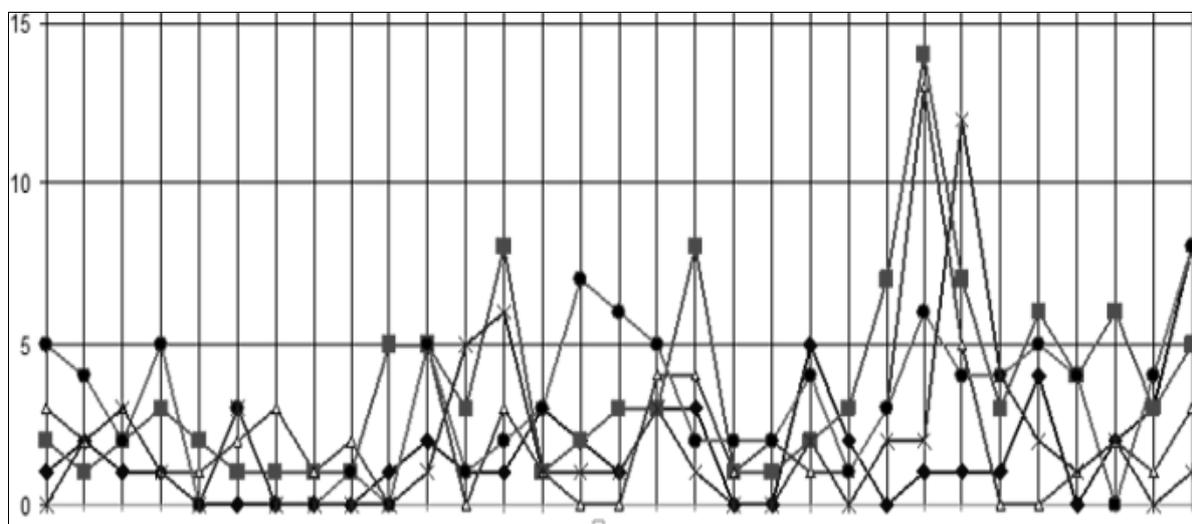


Рисунок 4 – Распределение потока непредвиденных и плановых ЛЭП классического исполнения и компактных линий в распределительных сетях в течение месяца эксплуатации

Таблица 2 – Показатели непредвиденных отказов в распределительных сетях рассматриваемых РЭС

№	Наименование показателя		Норматив времени, ч	
1	Средняя продолжительность отказа в распределительной сети, ч		10	
2	Средняя частота отказа в распределительной сети, 1/ч		3,18	
3	Средняя продолжительность восстановления подачи энергии, ч.		6,8	
4	Длительность одного непредвиденного отказа, ч	Непредвиденные аварийные отказы - в результате был заменен аварийный участок сети или трансформаторная подстанция, ч	24	
5		Ночные непредвиденные аварийные отказы распределительных сетей и электрооборудования, ч	16	
6.1		Другие непредвиденные аварийные отказы	В городской среде	6
6.2			В сельской местности	8
7.1	Годовая длительность непредвиденных аварийных простоев, ч	В городской среде	36	
7.2		В сельской местности	48	
8.1	Общее число непредвиденных аварийных отказов, ч	В городской среде	6	
8.2		В сельской местности	9	
9.1	Длительность одного планового отключения, ч	Капитальное восстановление	24	
9.2		Другие случаи	12	

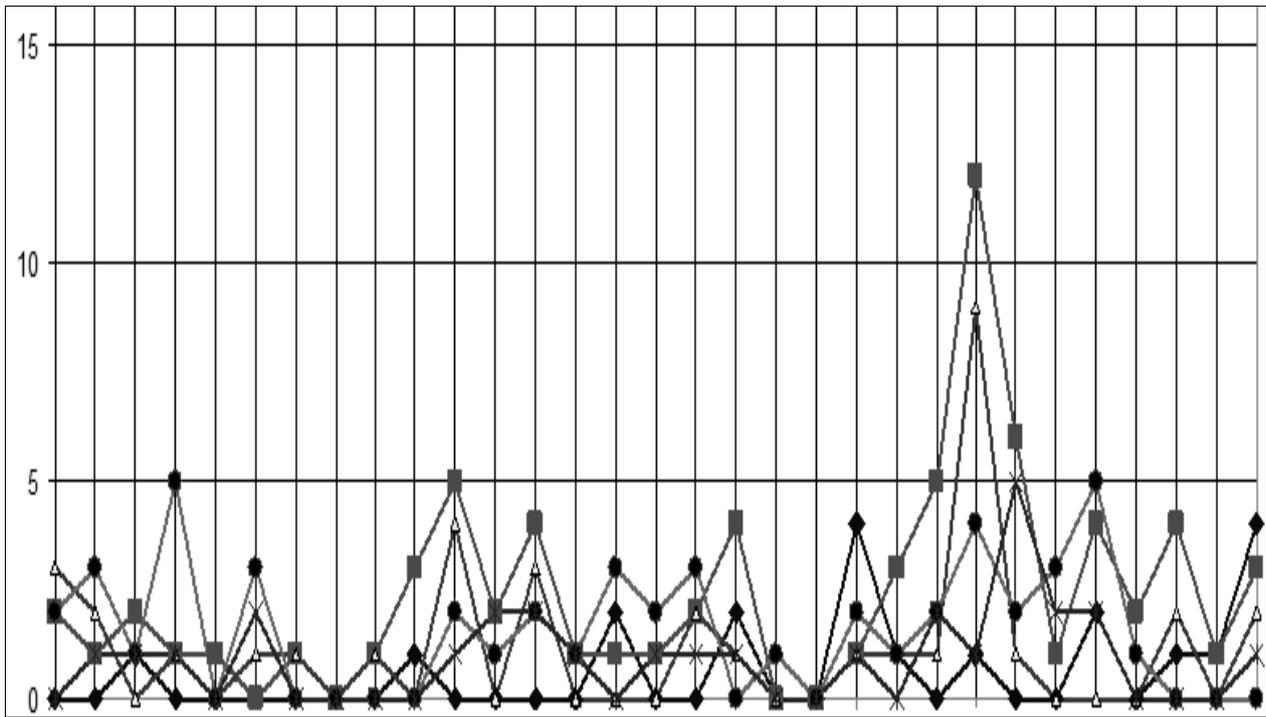


Рисунок 5 – Диаграмма распределения аварийных отказов распределительных сетей классического исполнения напряжением 10кВ и компактных электрических сетей такого же класса напряжения

## Выводы

Из проведенного анализа статистического материала об эксплуатационной надежности классических и компактных ВЛ 10кВ следует, что количество непредвиденных аварийных отказов у ЛЭП классического исполнения на порядок выше, чем у компактных линий такого же класса напряжения. Отключения компактных линий осуществлялись только в плановом режиме. Аварийные отключения компактных линий не были зарегистрированы.

Приведенные показатели позволяют заключить, что эксплуатационная надежность компактных линий электропередачи 10кВ выше, чем классических линий такого же уровня напряжения. Дальнейшее внедрение компактных ВЛ приведет к повышению надежности электроснабжения потребителей независимо от места их расположения относительно мест генерации.

## Список использованных источников

1. Erhan F. Bazele teoretice ale electrotehnicii. Chiș., UASM, 2009, 675 p.
2. Бессонов. Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. – М.: ЮРАЙТ, 2013г., 856 с.
3. Постолатий В. М. Компактные управляемые самокомпенсирующиеся высоковольтные линии электропередачи переменного тока / В. М. Постолатий. – Кишинев: Типография АН М, 2017. – 731 с.
4. Erhan F. Algoritmi și modele de calcul al indicatorilor de fiabilitate a sistemelor de alimentare cu energie electrică / F. Erhan, V. Popescu. – Chișinău: UASM, 2014. – 284 p.

5. Erhan F. Megvițchi L. Principiile de determinare a intensității energetice. Analele UASM, 2003, V. 21. p. 147-150.

6. Ерхан Ф. М. Токи короткого замыкания и надежность энергосистем / Ф. М. Ерхан. – Кишинев, Штиинца, 1985г., 256 с.

7. Ерхан Ф. М. Взаимосвязь между токами к. з. и надежностью электрооборудования / Ерхан Ф. М. // Извещения ВУЗов Энергетика. – Минск. – 1991 г, № 11. – 13-17с;

## Анотація

### ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ КОМПАКТНИЙ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ НАПРУГОЮ 10 КВ

Ерхан Ф. М., Постолатій В. М.

Стаття присвячена аналізу та оцінці надійності компактних і класичних ліній електропередачі напругою 10кВ з урахуванням їх конструктивних особливостей, технічних параметрів і ефективності.

## Abstract

### ASSESSMENT RELIABILITY COMPACT TRANSMISSION LINES 10 KV

F. Erhan, V. Postolati

Analysis and assessment of the reliability of compact and classic transmission lines 10kV with regard to their design features, technical parameters and efficiency is devoted in the article.