

**Шатова Юлия Анатольевна**  
ФГБОУ ВПО «Пензенский Государственный университет»  
Доцент  
Кандидат технических наук  
*Shatova Yulia Anatolevna*  
*FGBOU VPO "Penza State University"*  
*Docent*  
E-Mail: yulia-shatova@yandex.ru

**Алешина Наталья Николаевна**  
ФГБОУ ВПО «Пензенский Государственный университет»  
Аспирант  
*Aleshina Natalia Nikolaevna*  
*FGBOU VPO "Penza State University"*  
*Post-graduate student*  
E-Mail: aees.psu@yandex.ru

05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

## **Методика расчета показателей надежности воздушных линий электропередачи на основе их длин**

The reliability indicators calculation methods of air power lines  
based on use its lengths

**Аннотация:** Дано описание методики расчета показателей надежности воздушных линий электропередачи на основе их длин. Представлены результаты расчетов надежности воздушных линий 110 кВ при использовании классической теории надежности и предлагаемой методики. Отмечены недостатки классической теории надежности и предложены пути их устранения. Рекомендованной областью использования методики является автоматизированная система управления надежностью электрических сетей.

**Abstract:** The reliability indicators calculation methods of air power lines based on use its lengths is given. The reliability calculations results of air power lines by voltage 110 kV are presented. Calculations are performed with applying of the classic reliability theory and offering methods. The demerits of classic reliability theory are noted and the ways of its removal are suggested. The recommended area of methods applying is the automazed system of electric networks reliability control.

**Ключевые слова:** Воздушная линия электропередачи, отказ, длина, показатели надежности, параметр потока отказов, методика расчета, надежность.

**Keywords:** Air power line, failure, length, reliability indicators, parameter of a stream of the refusals, calculation methods, reliability.

\*\*\*

### **Введение**

Бесперебойность снабжения потребителей электрической энергией является основным показателем качества систем электроснабжения. Степень бесперебойности электроснабжения оценивается надежностью электрических сетей. При анализе надежности работы принято

оценивать показатели надежности одинаково для всех элементов, входящих в состав электрических сетей [1, 2]. При этом показатели надежности *воздушных линий электропередачи (ВЛ)* оцениваются так же, как и других элементов системы. Такой подход к анализу надежности ВЛ является не совсем корректным. Это обусловлено особенностью ВЛ, представляющих собой протяженные в пространстве объекты. В зависимости от номинального напряжения длина ВЛ может составлять несколько сотен километров, трасса ВЛ может проходить по территориям с различными климатическими условиями, пересекать всевозможные инженерные сооружения и конструкции, географические объекты (поля, леса, озера), что оказывает значительное влияние на условия функционирования ВЛ.

Согласно классической теории показатели надежности электрических сетей рассчитываются с учетом количества элементов и отказов, при этом не учитывается длина отказавших ВЛ [1, 2]. Условия функционирования и технические параметры разных ВЛ отличаются, поэтому расчет показателей надежности по единой технологии для всей совокупности линий не представляется возможным, так как для этого пришлось бы объединять в одну группу неидентичные элементы. Таким образом, показатели надежности, определенные для группы отличающихся по параметрам ВЛ, представляют собой частный случай, а параметр потока отказов (ППО), рассчитанный таким образом, является частотой отказов в разнородном множестве ВЛ.

Для устранения этого недостатка авторы предлагают рассчитывать надежность ВЛ, используя показатели, определенные для ВЛ единичной длины.

### 1. Описание предлагаемой методики

Методика основана на обработке статистической информации об аварийных отключениях воздушных линий электропередачи. На предварительном этапе формируется перечень ВЛ с указанием их длин. Далее все аварийные отключения ВЛ, произошедшие за анализируемый период, разделяются на 2 группы: неустойчивые (успешно ликвидированные посредством автоматического повторного включения) и устойчивые отказы.

Затем все отказы делятся на 9 категорий в зависимости от причины отказа. Предлагается деление отказов по следующим признакам: отказ по неустановленной причине; отказы, вызванные ошибками персонала; неблагоприятные погодные условия; перекрытие проводов линий деревьями; повреждение элементов ЛЭП; набросы посторонних предметов; птицы; пожар; отказы оборудования подстанции. Более подробно данный вопрос уже рассматривался ранее [4, 5].

На следующем этапе заполняется форма (табл. 1), в которую вносится информация о том, к какой группе (н/у - неустойчивый отказ, у - устойчивый отказ) и категории относится каждый отказ и в качестве характеристики отказа указывается длина отказавшей ВЛ.

Таблица 1

Причины отказов																	
Не установленна		Ошибка персонала		Погодные условия		Перекрытия деревьями		Повреждение элементов ЛЭП		Набросы		Птицы		Пожар		Отказы оборудования ПС	
н/у	у	н/у	у	н/у	у	н/у	у	н/у	у	н/у	у	н/у	у	н/у	у	н/у	у

Также определяется итоговая длина отказавших ВЛ за рассматриваемый промежуток времени.

На следующем этапе определяются показатели надежности.

Параметр потока отказов:

$$\omega = \frac{l}{LT}, \quad (1)$$

где  $l$  - длина отказавших ВЛ за рассматриваемый промежуток времени;

$L$  - суммарная длина всех ВЛ;

$T$  - рассматриваемый промежуток времени.

В соответствии с формулой (1) ППО может быть определен как частота отказов ВЛ единичной длины.

Параметр определяется по итоговой длине отказавших ВЛ, отдельно для устойчивых и неустойчивых отказов и для каждой категории причин отказов из табл. 1. ППО, рассчитанный через длину ВЛ, позволяет производить оценку надежности в зависимости от индивидуальных характеристик каждой линии, без усреднения их параметров.

Остальные показатели рассчитываются по формулам классической теории надежности электроэнергетических систем [2] с некоторыми особенностями.

Классическая теория надежности электроэнергетических систем относит к основным показателям надежности также время восстановления. Авторы считают учет данного параметра в настоящее время нецелесообразным. Согласно требованиям Правил устройства электроустановок [3] энергоснабжающая организация обязана обеспечить потребителя электроэнергией должного качества в необходимом объеме. При этом перерывы в электроснабжении потребителей нормируются в зависимости от их принадлежности к той или иной категории надежности электроснабжения.

На уровне электрических сетей высокого напряжения невозможно выделить объекты, осуществляющие электроснабжение потребителей отдельных категорий надежности, так как одна и та же ВЛ питает несколько подстанций, к которым подключены потребители всех категорий. Следовательно, любой перерыв в электроснабжении длительностью более времени ввода аварийного резерва, является недопустимым. При расчете надежности по предлагаемой методике отказы подобного рода входят в перечень устойчивых отказов. Таким образом, время восстановления не имеет значения для установления факта ненадежной работы, а определяет ремонтные характеристики ВЛ.

При исследовании надежности электроэнергетических систем используется обширный перечень дополнительных показателей. Одним из них является наработка на отказ:

$$T_n = \frac{8760}{\omega}. \quad (2)$$

К дополнительным показателям надежности принято относить и коэффициенты готовности и вынужденного простоя. Так как эти коэффициенты определяются временем восстановления элемента, которое как указано ранее, предлагается исключить из расчета, их определение также становится нецелесообразным.

В качестве дополнительного показателя надежности часто указывается вероятность безотказной работы (ВБР). При длительности расчетного периода, равной одному году, ВБР определяется по формуле:

$$P = e^{-\omega}. \quad (3)$$

Предлагаемая методика расчета показателей надежности ВЛ основана, в отличие от существующих методик, не на использовании числа наступивших отказов и элементов в группе, а на определении надежности ВЛ в зависимости от их длин.

Рассмотрим применение описанной методики расчета на практике и проанализируем результаты.

## 2. Расчет показателей надежности

Расчет показателей надежности проведен для ВЛ-110 кВ, представляющих собой распределительную сеть одной из энергосистем Средней Волги. Общее количество анализируемых ВЛ-110 кВ составляет  $n=149$  шт. суммарной длиной  $L=3215,72$  км, рассматриваемый период  $T=10$  лет. Общее количество отказов за этот период  $m=1515$ .

Среди анализируемых объектов отсутствуют ВЛ-110 кВ, ввод в эксплуатацию которых произошел ранее, чем за 2 года до рассмотренного периода. Таким образом, из результатов анализа надежности исключены отказы в период приработки из-за дефектов изготовления и монтажа. Кроме того, хотя срок эксплуатации некоторых ВЛ-110 кВ превышает 35-40 лет, благодаря периодическому проведению планово-предупредительных ремонтов исключены их износные отказы.

Согласно описанной методике расчета на предварительном этапе был сформирован перечень ВЛ-110 кВ с указанием длин, все отказы были классифицированы на устойчивые и неустойчивые, а также разделены на категории в зависимости от причины (табл. 2).

Таблица 2

Причины отказов																	
Не установлен		Ошибка персонала		Погодные условия		Перекрытия деревьев -ми		Повреждение элементов ЛЭП		Набросы		Птицы		Пожар		Отказы оборудования ПС	
н/у	у	н/у	у	н/у	у	н/у	у	н/у	у	н/у	у	н/у	у	н/у	у	н/у	у
77,	65,	115,	0	22,	38,	38	7	21,	15	6	4	82,	89	67,	34	21	7
4	9	9		6	7			1				3		1			
...	...	...	..	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	..	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Далее по формуле (1) был проведен расчет ППО, определены границы доверительных интервалов параметров потока отказов, используя [2], при величине доверительной вероятности 0,95, результаты приведены в табл. 3.

**Таблица 3**

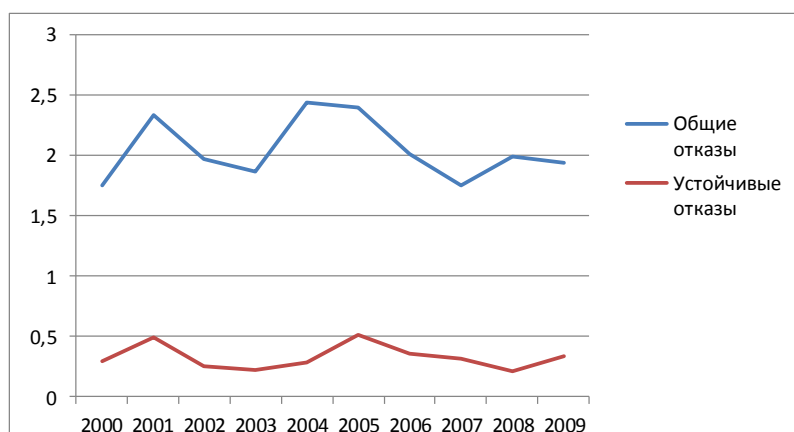
Год	Общие отказы			Устойчивые отказы			Неустойчивые отказы		
	ППО, 1/год	Границы доверительных интервалов		ППО, 1/год	Границы доверительных интервалов		ППО, 1/год	Границы доверительных интервалов	
		нижняя	верхняя		нижняя	верхняя		нижняя	верхняя
2000	1,75198	1,52346	2,01377	0,29334	0,25508	0,33718	1,45864	1,26838	1,67659
2001	2,33508	2,03050	2,68400	0,49278	0,42850	0,56641	1,84230	1,60200	2,11759
2002	1,96926	1,71240	2,26352	0,25052	0,21785	0,28796	1,71874	1,49456	1,97556
2003	1,86463	1,62142	2,14326	0,22348	0,19433	0,25687	1,64115	1,42709	1,88638
2004	2,44101	2,12262	2,80576	0,28610	0,24878	0,32885	2,15491	1,87384	2,47691
2005	2,39067	2,07884	2,74790	0,51082	0,44419	0,58715	1,87985	1,63465	2,16075
2006	2,01227	1,74980	2,31295	0,35776	0,31110	0,41122	1,65451	1,43870	1,90173
2007	1,74795	1,52000	2,00914	0,31430	0,27330	0,36126	1,43365	1,24666	1,64788
2008	1,99160	1,73182	2,28919	0,21391	0,18601	0,24588	1,77769	1,54581	2,04332
2009	1,94182	1,68854	2,23198	0,33857	0,29441	0,38917	1,60325	1,39413	1,84282

Как следует из полученных результатов, значения ППО существенно отличаются. Средние значения ППО за анализируемый период составили для общих отказов 2,04463 1/год, для устойчивых отказов 0,32816 1/год, для неустойчивых 1,71647 1/год.

При использовании классической теории надежности ППО будет равен:

$$\omega' = \frac{m}{nT} = 1,01678 \text{ 1/год.} \quad (4)$$

График изменения параметров потока общих и устойчивых отказов в исследуемом промежутке времени (рис.) применяется в перспективных расчетах надежности при оценке сооружаемых объектов, если предварительно экстраполировать ППО на несколько лет вперед.



**Рис.** График изменения параметров потока общих и устойчивых отказов в исследуемом промежутке времени

При использовании классической теории надежности наработка на отказ ВЛ-110 кВ анализируемой энергосистемы составит 8615 ч, а при использовании предлагаемой методики расчета - 4284 ч.

В качестве дополнительного показателя надежности часто указывается *вероятность безотказной работы (ВБР)*. При длительности расчетного периода, равной одному году, ВБР составляет 0,36176 для классической теории надежности и 0,12943 для описанной методики.

Итак, проведенный расчет надежности ВЛ-110 кВ выявил несоответствие показателей, определенных с помощью классической теории надежности, показателям, рассчитанным по предлагаемой авторами методике. Значительное различие результатов связано с тем, что классическая теория надежности основана на использовании ППО, который определен как частота отказов на заданном интервале времени. При этом фиксируется сам факт аварии, а не километраж ВЛ. Однако с точки зрения эксплуатации электрических сетей отказ ВЛ длиной 1 км не столь значителен, как отказ ВЛ длиной 150 км. Данная особенность отказов нашла отражение в описанной в статье методике расчета показателей надежности, которая характеризуется универсальностью и может быть использована для линий электропередачи разной длины, в случаях, когда необходимо оценить надежность их совместной работы.

## Заключение

Информация о надежности оборудования электроэнергетических систем используется для улучшения планирования энергопроизводства, энергоснабжающие организации используют информацию для выявления причин отказов и улучшения характеристик надежности оборудования, а также проверки эффективности мероприятий по повышению надежности оборудования. Описанная методика расчета может быть применена для разработки автоматизированной системы управления надежностью электроэнергетических систем, т.к. является универсальной, может использоваться для линий любого класса напряжения, но в то же время, характеризуется индивидуальным подходом к каждому анализируемому объекту.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гук Ю.Б., Лосев Э.А, Мясников А.В. Оценка надежности электроустановок // Под ред. проф. Б.А. Константинова. М.: Энергия, 1974. - 200 с.
2. Розанов М.Н. Надежность электроэнергетических систем. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984. - 176 с.
3. Правила устройства электроустановок. Седьмое издание. - Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2008. - 511 с.
4. Шатова Ю.А, Кривошапов А.А., Алешина Н.Н. Анализ причин аварийных отключений ВЛ-110 кВ / Международная научно-практическая конференция «Энергосбережение, электромагнитная совместимость и качество в электрических системах» Сборник статей. Пенза, Приволжский Дом знаний, 2013 г. - 96 с. - с. 85-87.
5. Шатова Ю.А, Кривошапов А.А., Алешина Н.Н. Показатели надежности ЛЭП-220 кВ Пензенской энергосистемы // «Современные проблемы науки и образования». – 2012. – № 6. URL: <http://www.science-education.ru/106-7864>

**Рецензент:** Горячев Владимир Яковлевич, заведующий кафедрой «Автоматизированные электроэнергетические системы», доктор технических наук, ФГБОУ ВПО «Пензенский Государственный университет»