

УДК 621.316.1

**ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ
BASIC CONCEPTS AND INDICATORS OF RELIABILITY OF OVERHEAD
POWER TRANSMISSION LINES**

В. В. Люкевич

Научный руководитель - старший преподаватель Старжинский А. Л.

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

astarginsky@bntu.by

Liukevich V.V.

Supervisor – Starzhinsky A. L.,

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** оценка надежности воздушной линии с помощью специальных показателей.*

***Abstract:** assessment of the reliability of an overhead line using special indicators.*

***Ключевые слова:** воздушная линия, сеть, энергосистема, отказ, надежность, электроэнергетические системы, долговечность, безотказность.*

***Keywords:** overhead line, power grid, power system, failure, reliability, electric power systems, durability, non-failure operation.*

Введение

В современном мире цены на электроэнергию стремительно растут, поэтому надежности электроэнергетических систем выделяется особое внимание. Расчет надежности воздушных линий (ВЛ) производят для того чтобы минимизировать случаи аварий, отказов, массового простоя и недоотпуска продукции на предприятиях в связи с перебоями электроснабжения и это влечет к большим затратам.

Самая главная роль в работе энергосистемы и ее надежности отведена воздушным линиям. Примерно 30 - 50 % отказов и отключений наблюдается среди ВЛ 35-750 кВ.

Наиболее частыми предпосылками отключения или повреждения воздушных линий являются различные климатические условия. Линии электропередач (ЛЭП) в зимнюю погоду могут подвергаться гололеду и сильному ветру. Нередко атмосферные перенапряжения и перепады температур могут являться причиной повреждения ВЛ. Иногда случаются расстрелы гирлянд изоляторов или случайные наезды на опору – все это ведет к нарушению энергоснабжения потребителей электроэнергии.

Исследование надежности воздушных линий старается решить проблемы диспетчерского управления, разработать различные нормативы аварийных резервов оборудования, проанализировать конструкции всего технического

оборудования воздушных линий и оценить эффективность мероприятий по улучшению надежности и устойчивой работе ВЛ.

Важной составляющей оценки надежности ВЛ высоких и сверхвысоких напряжений являются специальные комплексные показатели. На практике используют всего пять основных групп:

- 1) Показатель безотказности ВЛ – с помощью этого коэффициента определяют какую часть времени от наработки или определенного промежутка функционирования воздушная линия работала безотказно.
- 2) Ремонтпригодность ВЛ – это свойство воздушной линии, которое заключается в решении проблем отказа в работе ВЛ путем ремонта и обслуживания.
- 3) Долговечность ВЛ – это способность воздушной сохранять свою работоспособность до тех пор, пока ее дальнейшая эксплуатация будет невозможна, даже после ремонта.
- 4) Комплексные показатели – это одни из важных показателей для оценки надежности ВЛ, они характеризуют сразу несколько свойств, которые являются компонентами надежности энергосистемы.
- 5) Экономические показатели - с помощью этого показателя ведется оценка эффективности затрат, которые идут на повышение самой надежности на ВЛ.

Основная часть

1. Безотказность ВЛ

Воздушная линия – это такой объект, который может восстанавливаться. Показатель безотказности ВЛ обозначается следующим образом $\omega(t)$. Его еще иногда называют параметром потока отказов. Так что же влияет на величину этого показателя « ω »? Износ оборудования и плановые ремонты. Эта зависимость отображена на графике, представленном на рисунке 1.

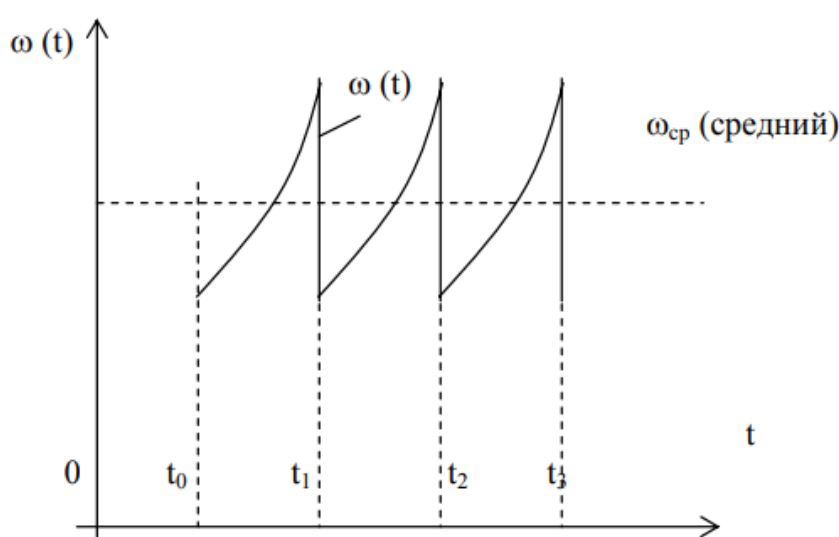


Рисунок 1 – График зависимости параметра потока отказов от момента времени выполнения капитальных ремонтов. t_1, t_2, t_3 – момент времени выполнения капитальных ремонтов. t_0 – окончание приработки (периода освоения).

$$\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M[r(t + \Delta t)] - M[r(t)]}{\Delta t}, \quad (1)$$

Где M – математическое ожидание отказов воздушной линии;

$r(t)$ - число отказов за время t ;

$r(t + \Delta t)$ - число отказов за время $(t + \Delta t)$;

$\omega(t)$ - среднее число отказов, ожидаемых в малом интервале времени.

Из анализа причин отказа воздушных линий:

$$\omega(t) = \omega_1(t) + \omega_2, \quad (2)$$

Где ω - поток отказов воздушной линии;

$\omega_1(t)$ - отражает связь с износом и старением воздушных линий от срока службы;

ω_2 - этот параметр связан с внешними воздействиями на воздушную линию.

Гниение древесины, износ арматуры, проводов, тросов, коррозия – все это характеризуется потоком отказов, а такие погодные явления, как гололед, ветер, удары молний в линию электропередач (ЛЭП), ледоходы, обрывы проводов и пожары напрямую связаны с потоком. Так как параметр никак не зависит от различных плановых ремонтов и времени эксплуатации системы, его обычно принимают за постоянную величину.

Вероятность безотказной работы воздушных линий отражает понятие функции надежности линий - $p(t)$.

$$p(t) = 1 - \sum p_i(t) \cdot q_i(t), \quad (3)$$

Где i – возможное состояние воздушных линий;

$p_i(t)$ - вероятность нахождения воздушных линий в момент времени t в состоянии i ;

$q_i(t)$ - вероятность нарушения надежности воздушных линий в момент времени t в состоянии i .

2. Ремонтпригодность воздушных линий

Средняя продолжительность плановых отключений линий, среднее время восстановления ЛЭП после отказа, средняя периодичность ремонтов ВЛ и ее оборудования, средние затраты за труд, который был приложен на капитальный ремонт и техобслуживание линий – все это определяет ремонтпригодность воздушной линии.

3. Долговечность воздушных линий

Самыми недолговечными ЛЭП являются те, что были сооружены на деревянных опорах, принято считать, что срок службы таких линий составляет в среднем 30 лет, а металлические или железобетонные могут прослужить около 50 лет.

4. Комплексные показатели

а) коэффициент технического использования – это часть времени, при котором ВЛ была в рабочем состоянии относительно времени самой ее эксплуатации. Из данного определения становится сразу ясно, что этот показатель имеет следующую формулу:

$$K_{T,И} = \frac{T_0}{T_0 + T_B + T_P} \approx 1 - \omega \cdot T_B - \mu \cdot T_P, \quad (4)$$

Где T_0 - среднее время работы воздушной линии между отказами;

T_B - среднее время восстановления воздушной линии;

T_P - среднее время преднамеренного отключения воздушной линии;

ω - параметр потока отказов;

μ - средняя периодичность ремонтов.

Этот показатель характеризует работу ВЛ. Чем больше было отказов, плановых отключений и простое в работе ЛЭП, тем меньше будет этот показатель [2].

б) Коэффициент готовности имеет почти такую же формулу, как и коэффициент технического использования. Разница заключается в том, что коэффициент готовности не имеет в знаменателе показатель среднего времени преднамеренного отключения ВЛ. Поэтому, можно сказать, что этот коэффициент показывает какую часть времени ЛЭП находилась в рабочем состоянии учитывая среднее время восстановления воздушной линии и исключая среднее время преднамеренного отключения воздушной линии. Этот показатель имеет формулу:

$$K_G = \frac{T_0}{T_0 + T_B} \approx 1 - \omega \cdot T_B, \quad (5)$$

Где T_0 - среднее время работы воздушной линии между отказами;

T_B - среднее время восстановления воздушной линии.

в) коэффициент простоя воздушной линии из-за отказов:

$$K_{П,О} = \frac{T_B}{T_0 + T_B}, \quad (6)$$

г) коэффициент простоя воздушной линии при ремонтах:

$$K_{П,Р} = \frac{T_P}{T_0 + T_P}, \quad (7)$$

5. Экономические показатели надежности воздушной линии

а) эффективность затрат на повышение надёжности воздушной линии:

$$\mathcal{E}_H = \frac{\Delta H}{Z_H}, \quad (8)$$

Где ΔH - повышение надёжности линии в результате введения резерва;
 Z_H - величина приведенных затрат на образование резерва.

б) суммарные затраты на проведение техобслуживания или ремонта за определённый срок.

в) ущерб от отказа воздушной линии.

Приведем пример расчета комплексных показателей надежности одноцепной железобетонной воздушной линии 35 кВ [3]. Известно, что параметр потока отказов воздушной линии (ω) равен 0,72 1/год на 100 км линии, среднее время восстановления линии (T_B) составляет 10 часов, средняя периодичность ремонтов (μ) – 1,2 1/год на одну линию, среднее время преднамеренного отключения (T_P) – 15 часов на одну линию. Надо найти коэффициент технического использования и коэффициент готовности ВЛ.

Воспользовавшись формулой (4) найдем коэффициент технического использования:

$$K_{T,И} = 1 - \omega \cdot T_B - \mu \cdot T_P = 0,997,$$

По формуле (5) коэффициент готовности:

$$K_G = 1 - \omega \cdot T_B = 1 - 0,72 \cdot \frac{10}{8760} = 0,999.$$

Заключение

Учет надежности электроснабжения – это одна из важнейших и неотъемлемых частей проектирования современных электрических сетей. На сегодняшний день, для того, чтобы обеспечить эффективное управление надежностью воздушных линий, идет активная разработка системы мониторинга в направлении электроэнергетики, а также обеспечение развития такой отрасли, как «интеллектуальные системы электроснабжения» для повышения надежности электроэнергетических систем. Владение основами теории надежности содействует безошибочному принятию решений при эксплуатации и проектировании энергосистем. Поэтому при подготовке высококвалифицированных кадров в сфере энергетики, надежности уделяется особое внимание.

В качестве исследуемого объекта была представлена одноцепная сеть номинального напряжения 35 кВ. Был проведен расчет комплексных показателей электрической сети и мы получили следующие результаты: коэффициент технического использования $K_{T,И} = 0,997$, коэффициент готовности $K_G = 0,999$. Можно сделать вывод, что сеть работает практически

безотказно и никаких мер по увеличению надежности сети проводить не следует.

Литература

1. Поспелов, Г. Е. Электрические системы и сети / Г. Е. Поспелов, В. Т. Федин, П. В. Лычев. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 720 с.

2. Барг, И. Г. Указания по применению показателей надежности элементов энергосистем и работы энергоблоков с паротурбинными установками / И. Г. Барг [и др.] // ИС Меганорм [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://meganorm.ru/Index2/1/4294817/4294817220.htm>. – Дата доступа: 27.03.2022.

3. Показатели надежности линий электропередачи // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studopedia.info/5-72842.html>. – Дата доступа: 23.03.2022.