

ПРИЧИНЫ И ХАРАКТЕР ПОВРЕЖДАЕМОСТИ КОМПОНЕНТОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 110-750 КВ В 1997-2007 ГГ.

АВТОРЫ:

ЕФИМОВ Е. Н.,
К. Т.Н.
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

ТИМАШОВА Л. В.,
К. Т.Н.
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

ЯСИНСКАЯ Н. В.
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Рассматриваются технологические нарушения в работе воздушных линий электропередачи различных классов напряжения, связанные с повреждениями компонентов

ВЛ. Приводятся статистические данные по повреждаемости различных компонентов ВЛ (опор, линейной изоляции, линейной арматуры, проводов, грозозащитных тросов).



За 11-летний период эксплуатации зарегистрировано почти 9,5 тыс. случаев технологических нарушений на ВЛ 110–750 кВ, связанных с повреждениями элементов ВЛ

ПРОТЯЖЕННОСТЬ ВЛ 110-750 КВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОРАХ

Материал опор	Напряжение ВЛ, кВ								
	110		220		330		500		750
	трасса	цепи	трасса	цепи	трасса	цепи	трасса	трасса	
Металлические [км]	68 122	97 582	49 883	169 100	4 356	5 236	32 426	3 077	
Железобетонные [км]	121 804	173 478	35875	36 372	5 325	5 332	9 147	–	
Общая длина [км]	189 926	271 060	85 758	205 472	9 681	10 568	41 573	3 077	

Таблица 1

ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ВЛ 110-750 КВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ (ЛЕТ)

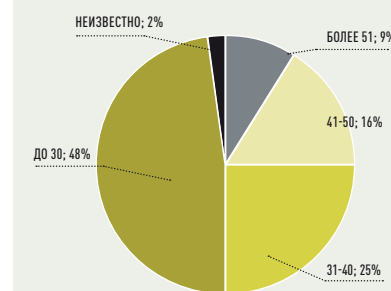


Рис. 1

Значительное количество находящихся в эксплуатации воздушных линий РФ напряжением 110–750 кВ построено 30–50 лет назад. Поэтому естественно, что в последние годы все чаще и чаще поднимается вопрос о повреждаемости и техническом состоянии таких ВЛ [1–4]. В [1, 2] техническое состояние ВЛ описывается распределением числа отказов ВЛ в различные периоды времени вплоть до 2000 г. Было отмечено, что в 1990-е годы наблюдался заметный рост отказов ВЛ за фиксированный период времени (т. е. поток отказов), основными причинами которого назывались старение материала и износ компонентов ВЛ. Однако обобщенная оценка состояния ВЛ на основе только потоков отказов не является достаточно информативной и не дает реальной картины повреждаемости компонентов ВЛ

различных классов напряжения. Например, представленные в [3, 4] результаты анализа технического состояния и надежности ВЛ 500 кВ, построенных в 1954–1960 гг., свидетельствуют о том, что после 35–40 лет эксплуатации коррозия стальных опор в воздухе и на земле, коррозия грозозащитных тросов и износ подвесной арматуры не превышают допустимых норм. При этом отдельные компоненты ВЛ имели разные степени коррозионного износа. Причем наибольшему коррозионному и механическому износу подверглись грозотросы. В качестве основных причин, обусловивших повреждение опор, проводов, грозотросов и арматуры, как в [1, 2], так и в [3] называются гололедно-ветровые воздействия, дефекты проектирования и монтажа.

Чтобы выявить основные тенденции в изменении причин и характера повреждаемости компонентов ВЛ, представляет интерес анализ повреждаемости ВЛ 110–750 кВ в течение последнего десятилетия. При этом особое внимание следует уделить определению количественных соотношений различных причин технологических нарушений для ВЛ различных классов напряжения и характеру повреждений компонентов линий в различные периоды их эксплуатации. Рассмотрению этих вопросов посвящена данная статья.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ В РАБОТЕ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ЗА 1957–1964 И 1997– 2007 ГГ.

Повреждаемость основных компонентов воздушных линий электропередачи (опоры, провода, грозозащитные тросы, изоляторы, линейная арматура) напряжением 110–750 кВ в нашем анализе оценивалась на основе актов расследования технологических нарушений в работе электростанции, сети или энергосистемы за 11-летний период эксплуатации в 1997–2007 гг., а в предшествующие годы – на основе материалов, представленных в [3] и [5].

Протяженность ВЛ 110–750 кВ на металлических и железобетонных опорах приведена в таблице 1.

За рассматриваемый период зарегистрировано почти 9,5 тыс. случаев технологических нарушений на ВЛ 110–750 кВ, связанных с повреждениями элементов ВЛ: опор, проводов, грозозащитных тросов, гирлянд изоляторов, линейной арматуры.

КОЛИЧЕСТВО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ НА 100 КМ ДЛИНЫ ВЛ В ТЕЧЕНИЕ ГОДА ДЛЯ ВЛ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Годы	Напряжение, кВ					
	110	220	330	400	500	750
1957-1964 [5]	3,64	1,56	-	0,49	-	-
1997-2007	4,18	1,40	1,10	-	0,50	0,20

Таблица 2

УДЕЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ НА 100 КМ ПРОТЯЖЕННОСТИ ВЛ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ НАПРЯЖЕНИЯ

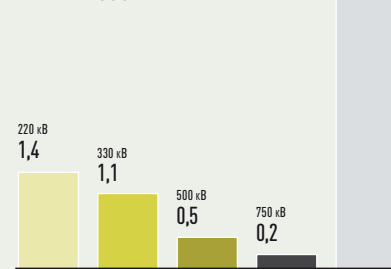
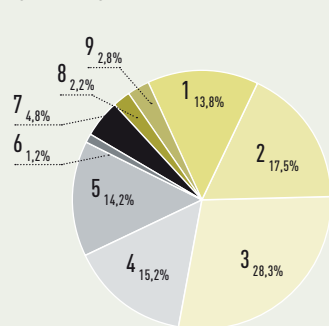


Рис. 2

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ВЛ



1 – потеря несущей способности, износ, коррозия; 2 – гололедно-ветровые нагрузки; 3 – посторонние воздействия (падение деревьев, наезды, набросы, расстрелы изоляторов); 4 – атмосферные перенапряжения; 5 – дефекты проектирования, строительства и монтажа; 6 – стихийные явления (землетрясения, сели, оползни и т.д.); 7 – дефекты эксплуатации; 8 – нерасчетные режимы в сети; 9 – загрязнение изоляции, птицы.

Рис. 3

На рис. 1 количество технологических нарушений воздушных линий показано в соответствии с длительностью эксплуатации ВЛ.

Для сравнения отметим, что, хотя износ основного электрооборудования подстанций (ПС) сопоставим с износом ВЛ, тем не менее за тот же период, с 1997 по 2007 гг., произошло около 6,5 тыс. случаев технологических нарушений работы ПС напряжением 110–750 кВ. Это в 1,5 раза меньше числа зарегистрированных нарушений на ВЛ. Такая разница в уровнях повреждаемости основного электрооборудования подстанций и элементов ВЛ в большей степени обусловлена недостаточным учетом климатических нагрузок при проектировании ВЛ и возможных посторонних воздействий на ВЛ.

На рис. 2 и в таблице 2 приведено количество технологических нарушений на 100 км длины ВЛ в течение года для ВЛ различных классов напряжения.

Данные, приведенные в таблице 2, характеризуют воздушные линии, существенно различающиеся ресурсом работы и, следовательно, уровнем старения. Однако исходя из этих данных вряд ли можно утверждать о преобладающем влиянии старения материалов компонентов ВЛ на уровень повреждаемости ВЛ, как это представлено в [2].

Как видно из рис. 2 и таблицы 2, основная часть технологических нарушений в обоих рассматриваемых периодах приходится на ВЛ напряжением 110 кВ. При этом следует отметить, что удельная повреждаемость ВЛ уменьшается с увеличением класса напряжения ВЛ. Это, очевидно, связано с тем, что расчетные климатические нагрузки при проектировании принимались начиная с 1950-х с вероятностью их неперевышения 0,9 для ВЛ 110–330 кВ, с 1964-го – с вероятностью неперевышения 0,933 для ВЛ 500 кВ, а с 1988 г. – с вероятностью неперевышения 0,96 для ВЛ 750 кВ. С 2003 г. при проектировании ВЛ всех классов напряжения в соответствии с требованиями ПУЭ-7 расчетные климатические нагрузки принимаются с вероятностью их неперевышения 0,96.

Причины повреждений компонентов ВЛ напряжением 110–750 кВ в 1997–2007 гг. показаны на рис. 3.

Можно выделить следующие основные причины технологических нарушений в работе ВЛ:

- посторонние воздействия (падение деревьев, наезды, набросы, расстрелы изоляторов) – 28,3%;
- гололедно-ветровые нагрузки – 17,5%;
- атмосферные перенапряжения – 15,2%;

ПРИЧИНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ В РАБОТЕ ВЛ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ

Годы	Причины технологических нарушений, %				
	Гроза	Гололед, ветер	Посторонние воздействия	Дефекты проектирования, монтажа, эксплуатации	Старение
1957-1964 [5]	25	30	18	19	-
1981-1994 [1]	~ 20	~ 20	30	19	-
1997-2007	15,2	17,5	28,3	19	13,8

Таблица 3

- потеря несущей способности, износ, коррозия – 13,8%;
- дефекты проектирования, монтажа, эксплуатации – 19,0%.

В списке основных причин технологических нарушений в работе ВЛ за истекшие 50 лет преобладают гололедно-ветровые воздействия, гроза, посторонние воздействия, дефекты проектирования, монтажа и эксплуатации (как это видно из таблицы 3).

Следует отметить, что в странах Европы гололедно-ветровые воздействия также обуславливают значительную долю всех аварий ВЛ – в среднем от 20% до 40% [6]. В таблице 4 и на рис. 4 приведены обобщенные данные о повреждаемости компонентов воздушных линий электропередачи напряжением 110–750 кВ в 1997–2007 гг.

Продолженный анализ повреждаемости компонентов ВЛ в 1997–2007 гг. показывает, что, как и в предыдущие десятилетия [3, 5], основная доля технологических нарушений приходится на линии напряжением 110 и 220 кВ. Это обуславливается, в первую очередь, значительной протяженностью воздушных линий 110–220 кВ. При этом наиболее повреждаемыми компонентами линий 110–750 кВ оказались провода, грозотросы и гирлянды изолято-

ров. Однако, как правило, именно повреждения опор сопровождались наибольшими значительными объемами разрушений и приводили к большим экономическим потерям.

Иная картина имела место в первое десятилетие эксплуатации ВЛ 400–500 кВ. По данным [3], основную долю повреждений (37%) составляли повреждения изоляторов, 32% – проводов и тросов, 10% – арматуры и 5% – опор и фундаментов.

ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОТДЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ВЛ

Анализ технологических нарушений позволил выявить основные причины повреждения отдельных компонентов ВЛ.

ОПОРЫ

В период с 1997 по 2007 гг. на ВЛ 110–750 кВ произошло 324 случая повреждения опор, что составило 3,4% от общего количества повреждений элементов ВЛ, в том числе:

- 187 случаев повреждения металлических опор с падением 121 опоры и повреждением 283 опор;

ОБОБЩЕННЫЕ ДАННЫЕ О ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ВЛ

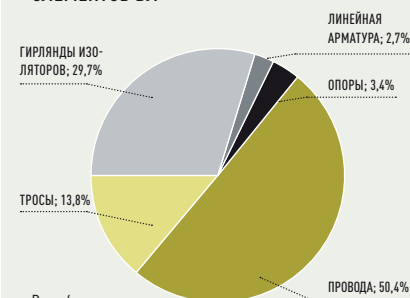
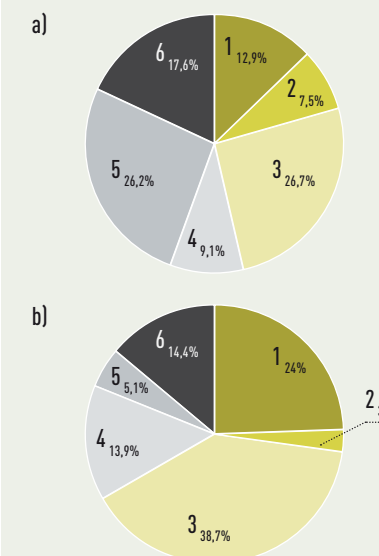


Рис. 4

ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ (а) И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ (б) ОПОР



1 – дефекты изготовления и монтажа; 2 – старение, коррозия; 3 – гололед, ветер; 4 – землетрясения, сели, оползни; 5 – хищение провода и элементов опор; 6 – посторонние воздействия.

Рис. 5

СВОДНЫЕ ДАННЫЕ О ПОВРЕЖДЕНИЯХ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ВЛ НАПРЯЖЕНИЕМ 110-750 КВ, ПРИВЕДШИХ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ НАРУШЕНИЯМ В 1997-2007 ГГ.

Наименование поврежденного оборудования	110 кВ		220 кВ		330 кВ		500 кВ		750 кВ		110-750 кВ	
	Колич.	%	Колич.	%	Колич.	%	Колич.	%	Колич.	%	Колич.	%
Опоры, в том числе:	207	2,6	92	7,8	11	10,0	12	6,2	2	40	324	3,4
металлические	98	1,2	22	1,9	3	2,7	3	1,5	2	40	128	1,3
железобетонные	109	1,4	70	5,9	8	7,3	9	4,7	-	-	196	2,1
Провода	4240	53,3	406	34,3	25	22,7	82	42,5	2	40	4755	50,4
Грозозащитные тросы	1066	13,4	180	15,2	13	10,9	46	23,8	1	20	1306	13,8
Изоляторы	2269	28,5	448	37,7	52	47,3	39	20,2	-	-	2808	29,7
Арматура	171	2,2	59	5,0	10	9,1	14	7,3	-	-	254	2,7
Всего случаев повреждения элементов ВЛ	7953	100,0	1185	100,0	111	100,0	193	100,0	5	100,0	9448	100,0

Таблица 4

- 137 случаев повреждения железобетонных опор с падением 81 опоры и повреждением 208 опор.

Обобщенные данные о причинах повреждений металлических и железобетонных опор приведены на рис. 5.

По степени значимости причины повреждений опор распределяются следующим образом:

металлические опоры:

- хищение элементов опоры, проводов и тросов – 26,2%;
- сверхрасчетные климатические нагрузки (гололед и ветер) – 25,7%;

- дефекты изготовления и монтажа – 12,9%;
- посторонние воздействия – 17,6%;

железобетонные опоры:

- сверхрасчетные климатические нагрузки (гололед и ветер) – 38,7%;
- дефекты изготовления и монтажа – 24,0%;
- посторонние воздействия – 13,4%.

Как видим, четверть повреждений металлических опор и более 30% железобетонных опор произошло вследствие сверхрасчетных нагрузок от ветра и гололеда. Более четверти повреждений металлических опор вы-

звано хищением различных элементов опор и проводов.

Повреждения железобетонных опор при монтаже в основном были результатом установки опор в слабые грунты, выдувания грунта, недостаточных заглублений опор. В последнем случае происходили падения опор из-за недопустимого наклона, так как под действием внешних нагрузок железобетонные опоры приобретали крен, создававший дополнительный изгибающий момент и снижавший несущую способность опоры.

Количество повреждений, связанных с потерей несущей способности опор металлоконструкций от износа и коррозии при сроках службы

более 40 лет (регламентированных нормативными документами), относительно невелико, но защита опор и их элементов от коррозии остается одной из проблем при эксплуатации ВЛ. Самый распространенный вид коррозии – поверхностная; ей подвержены в первую очередь поясные уголки, раскосы, диафрагмы, расположенные в непосредственной близости от земли, раскосы, диафрагмы траверс, горизонтальные или наклонные полки уголков по всей высоте опоры.

Необходимо отметить также большое число случаев повреждений опор вследствие посторонних воздействий: наездов на опоры, взрывов, падений деревьев. Определение виновников хищений и падения деревьев представляется достаточно сложной процедурой, особенно в условиях существенного сокращения эксплуатационного персонала. Однако следует обратить внимание, что до настоящего времени так и не утверждён нормативный документ, которым предполагается заменить действующие Правила охраны электрических сетей.

ПРОВОДА И ГРОЗОЗАЩИТНЫЕ ТРОСЫ

В 1997–2007 гг. было зафиксировано 4755 случаев повреждения проводов и 1305 случаев повреждения грозозащитных тросов, что соответственно составило 50,3% и 13,8% от общего количества повреждений элементов ВЛ.

Причины повреждений проводов приведены на рис. 6.

Основные причины повреждения проводов:

- дефекты проектирования и монтажа – 12,2%;
- дефекты эксплуатации – 22,8%;

- гололед с ветром, превышающим расчетные условия – 16,5%;
- снижение прочности, коррозия, износ – 11,4%;
- посторонние воздействия – 18%.

Причем наибольшее количество повреждений произошло на ВЛ 110 кВ с проводами АС-95 и АС-120.

В качестве грозозащитных тросов на ВЛ 220–750 кВ обычно используются стальные канаты марки ТК-70, а также сталеалюминиевый провод АС 70/72.

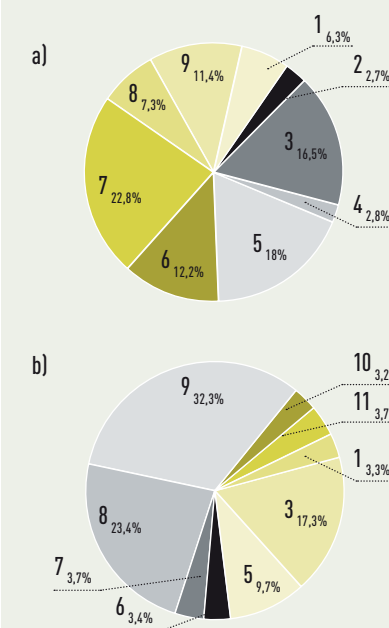
Как показал анализ, основными причинами повреждений грозозащитных тросов являются:

- снижение прочности, коррозия, старение – 32,9%;
- атмосферные перенапряжения – 23,4%;
- гололед и ветер, превышающие расчетные условия – 17,3%.

Причем почти 78% всех повреждений грозотросов произошло на ВЛ 110 кВ. Основную часть (93%) поврежденных грозозащитных тросов на ВЛ 110 кВ составили стальные тросы (канаты) ТК-50 и стальные провода С-50. Отметим, что на ВЛ 750 кВ повреждений грозотросов, приведших к технологическим нарушениям, не было. Как указано в актах технологических нарушений, наиболее часто на ВЛ 220 и 330 кВ происходили нарушения с повреждением тросов ТК-70.

Анализируя причины повреждений стальных тросов, следует учитывать, что при их заданных физических характеристиках и тяжениях они обладают более низким по сравнению со сталеалюминиевыми проводами самодемпфированием, что, как известно, способствует возникновению вибрации.

ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЯ ПРОВОДОВ (а) И ГРОЗОТРОСОВ (б) ВЛ



- 1 – пляска, вибрация; 2 – хищение; 3 – гололед, ветровые нагрузки; 4 – повреждения на выходе провода из зажима; 5 – посторонние воздействия; 6 – дефекты проектирования, монтажа; 7 – дефекты эксплуатации; 8 – атмосферные перенапряжения; 9 – снижение прочности, коррозия; 10 – протекание токов короткого замыкания; 11 – прочие причины.

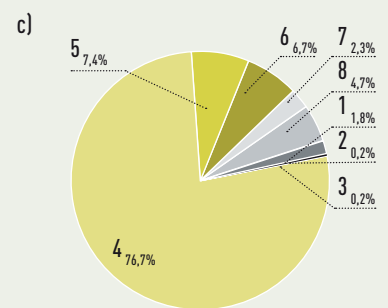
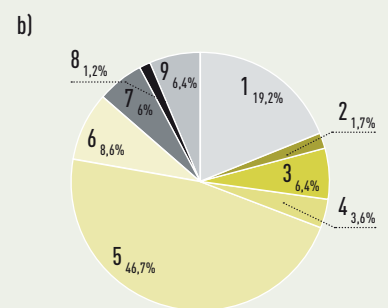
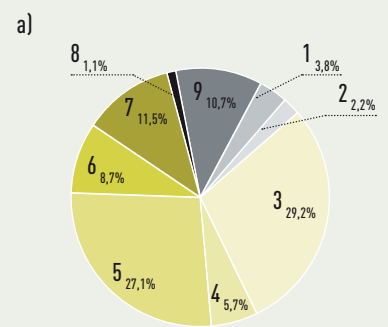
Рис. 6

ИНФОРМАЦИЯ

СТАТИСТИКА

Наиболее повреждаемыми компонентами линий 110–750 кВ оказались провода, грозотросы и гирлянды изоляторов. Однако, как правило, именно повреждения опор сопровождались наибольшими значительными объемами разрушений и приводили к большим экономическим потерям.

**ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ГИРЛЯНД ИЗОЛЯТОРОВ:
СТЕКЛЯННЫХ (а), ФАРФОРОВЫХ (b)
И ПОЛИМЕРНЫХ (с)**



1 – старение; 2 – механические разрушения; 3 – расстрел; 4 – дефекты изготовления и монтажа; 5 – атмосферные перенапряжения; 6 – стихийные явления; 7 – загрязнения, птицы; 8 – пляска проводов; 9 – дефекты эксплуатации, посторонние воздействия.

Рис. 7

Повреждения проводов и тросов в большинстве случаев вызваны дугвыми перекрытиями с провода на трос во время гололедно-ветровых воздействий. Еще одна причина – удары молнии. В этих

случаях провода постепенно теряют прочность из-за последовательных повреждений проволок в верхних повивах, что происходит вследствие локальных оплавлений и пережога проволок.

ГИРЛЯНДЫ ИЗОЛЯТОРОВ

В 1997–2007 гг. на ВЛ 110–500 кВ было зафиксировано 2808 случаев повреждения гирлянд изоляторов, что составило 29,7% от общего количества поврежденных всех элементов ВЛ. 80% поврежденных гирлянд изоляторов произошло на ВЛ 110 кВ. На ВЛ 750 кВ поврежденный гирлянд изоляторов, приведших к технологическим нарушениям, не было.

Было повреждено:

- гирлянд фарфоровых изоляторов – 1483;
- гирлянд стеклянных изоляторов – 814;
- полимерных линейных изоляторов – 511.

Причины повреждения гирлянд изоляторов представлены на рис. 7.

Были установлены следующие основные причины повреждения гирлянд изоляторов:

- атмосферные перенапряжения – 29,3%;
- расстрел изоляторов – 17,5%;
- дефекты изготовления и монтажа изоляторов – 17,3%;
- старение изоляторов – 7,9%;
- загрязнение изоляции, в том числе птицами – 8,3%;
- посторонние воздействия и недостатки эксплуатации – 7,3%.

Для каждого типа изоляторов можно выделить основные причины:

ИНФОРМАЦИЯ

РАССТРЕЛ ИЗОЛЯТОРОВ

В соответствии с Уголовным кодексом РФ расстрел изоляторов можно квалифицировать как умышленное причинение значительного вреда чужому имуществу из хулиганских побуждений. Это может повлечь за собой наказание в виде лишения свободы на срок до пяти лет, а также крупный денежный штраф и полное возмещение причиненного ущерба.

К сожалению, «лихие стрелки», целясь в провода и изоляторы, не придают значения тому, что их действия могут оставить без света целый населенный пункт.

Например, причиной отключения электроснабжения семи населенных пунктов Камызякского района 26.11.2012 года стало повреждение изоляторов на одной из опор высоковольтной линии 110 кВ. В результате чьих-то хулиганских действий около 3000 жителей остались без энергоснабжения на длительное время. В октябре 2011 года в Архангельской области расстрел охотниками изоляторов на ЛЭП оставил 33 тыс. жителей региона без света. Из-за повреждения гирлянды изоляторов провод упал на железнодорожные рельсы, движение поездов было остановлено на полчаса.

КОЛИЧЕСТВО ПОЛИМЕРНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ НА ВЛ 110-500 КВ

Установлено всего	В том числе на ВЛ напряжением			
	110 кВ	220 кВ	330 кВ	500 кВ
на ВЛ 110-500 кВ	110 кВ	220 кВ	330 кВ	500 кВ
155 000 (100%)	91,4%	7,8%	0,5%	0,3%

Таблица 5

стеклянные изоляторы:

- расстрел изоляторов посторонними людьми – 29,1%;
- атмосферные перенапряжения – 27,1%;

фарфоровые изоляторы:

- атмосферные перенапряжения – 46,9%;
- старение, износ – 19,2%;

полимерные изоляторы:

- дефекты изготовления и монтажа – 76,7%;
- атмосферные перенапряжения – 7,4%;
- другие причины (сверхрасчетные гололедно-ветровые нагрузки, загрязнения, дефекты эксплуатации) – 15,9%.

Расстрел стеклянных изоляторов приводит не только к снижению электрической прочности гирлянд изоляторов, но и к полному их обрыву и падению проводов.

Подвесные тарельчатые фарфоровые изоляторы практически исчерпали свой ресурс. Почти в каждой гирлянде изоляторов можно найти как минимум один нулевой изолятор. Такие гирлянды с большой степенью вероятности разрушаются при протекании через нулевой изолятор тока в результате перекрытия гирлянды. Выявление

нулевых фарфоровых изоляторов является трудоемкой работой, которую, однако, необходимо проводить постоянно.

Чаще всего повреждались стеклянные изоляторы типа ПС-70, ПС, ПС-70 Д, ПС-6 А и СБ, а также фарфоровые изоляторы типа ПФ-6, П-6, ПМ-4,5. Повреждения гирлянд изоляторов при атмосферных перенапряжениях вследствие грозозовых разрядов обычно усугубляются воздействием интенсивного дождя и шквалистого ветра, увеличивающего динамическую нагрузку на элементы ВЛ. При перекрытиях изоляции происходит разрушение шапок стеклянных и фарфоровых изоляторов, повреждение изолирующих элементов (тарелок), нарушение металлических и изоляционных элементов линейных полимерных изоляторов. Во многих случаях были зафиксированы расщепления гирлянд при перекрытиях и повторных включениях ВЛ. Так, в 1997–2004 гг. на ВЛ 220–500 кВ произошло 176 расщеплений гирлянд вследствие повреждения стеклянных, фарфоровых и линейных полимерных изоляторов.

На ВЛ напряжением 110–500 кВ установлены полимерные изоляторы трех серий – ЛК, ЛП и ЛПИС (таблица 5).

Анализ технологических нарушений на таких ВЛ в 1997–2007 гг. показал, что повреждаемость полимерных изоляторов за этот период со-

ставляла: на ВЛ 110 кВ – 479 случаев, на ВЛ 220 кВ – 28 случаев и на ВЛ 330 кВ – 4 случая. При этом соотношение поврежденных изоляторов разных серий оказалось следующим: ЛК – 12,2%, ЛП – 36,7%, ЛПИС – 51,1%. Длительность эксплуатации полимерных изоляторов на момент повреждения составила: на ВЛ 110 кВ до 5 лет – 36%, от 5 до 10 лет – 46%, от 10 до 15 лет – 18%.

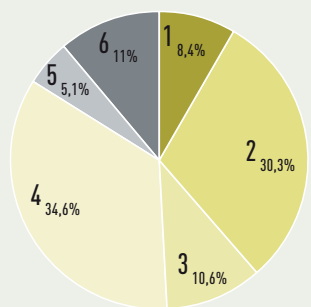
ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА

Как видно из анализа, представленного на рис. 4, арматура является наиболее надежным компонентом линии. За рассматриваемый период произошло всего 254 случая повреждения линейной арматуры, что составило 2,7% от общего количества повреждений элементов ВЛ. При этом наибольшее количество повреждений арматуры (67%) произошло на ВЛ 110 кВ. Причины повреждения линейной арматуры представлены на рис. 8.

Основными причинами повреждения линейной арматуры явились:

- низкое качество монтажных работ – 30,3%;
- износ и снижение прочности, особенно узлов крепления гирлянд изоляторов и тросовых креплений – 34,6%;
- недостатки эксплуатации и вмешательство посторонних лиц – 21,0%.

ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ЛИНЕЙНОЙ АРМАТУРЫ



1 – дефекты проектирования и изготовления; 2 – дефекты монтажа; 3 – дефекты эксплуатации; 4 – снижение прочности; 5 – пляска, ветер; 6 – посторонние воздействия.

Рис. 8

ИНФОРМАЦИЯ

ДЕФЕКТЫ

Причинами дефектов железобетонных фундаментов металлических опор являются:

- активное вымывание цементного камня под действием кислой ржавой воды, образующейся из дождевой воды в сочетании с продуктами коррозии стальных стоек опор;
- осыпание и отслаивание бетона и наполнителя, приводящие к оголению арматуры, что в дальнейшем ведет к коррозии арматуры и потере прочности фундамента;
- незащищенность «оголовника» фундамента от действия процессов замораживания–оттаивания влаги.

Дефекты натяжных и соединительных зажимов связаны с нарушениями технологии монтажа.

Наиболее уязвимыми оказались гасители вибрации типа ГВН и дистанционные распорки типов РГ, РВ, РВН, РГН. Однако повреждение этих элементов особого влияния на устойчивость работы ВЛ не оказывает.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ технологических нарушений ВЛ 110–750 кВ, произошедших в 1997–2007 гг., подтвердил утверждение, что наиболее надежными компонентами ВЛ являются опоры, а наиболее повреждаемыми компонентами являются провода, грозотросы и гирлянды изоляторов. Однако именно повреждения опор сопровождаются наибольшими объемами разрушений и приводят к наибольшим экономическим потерям. Следует отметить, что при возникновении технологических нарушений обычно достаточно сложно установить основную причину или цепочку событий, вызвавших это нарушение. В частности, практически невозможно без серьезных лабораторных исследований установить изменение физико-химической структуры материалов компонентов ВЛ, т. е. диагностировать степень старения материала. В пределах нормируемых сроков службы ВЛ чувствительными к старению могут быть отнесены некоторые исходные компоненты фарфоровых и композитных изоляторов. В некоторых случаях возможна также деструкция материалов опор и фундаментов. Так в [7] приведены результаты исследований в эксплуатации не менее 50 лет. Было обнаружено заметное изменение кристаллической решетки: она стала хрупкой в ре-

зультате постоянного воздействия водорода, который появляется при коррозии под действием гумусовой кислоты почвы. Деградация структуры бетона фундаментов [8] может возникнуть не только вследствие появления трещин из-за температурных градиентов, но и при воздействии сульфатов и диоксидов углерода.

Основными причинами снижения прочностных характеристик компонентов ВЛ являются:

- износ проводов и тросов в результате вибрации, пляски и коррозии стальных проволок;
- износ линейной арматуры из-за дефектов изготовления и монтажа, а также вследствие истирания при знакопеременных нагрузках;
- коррозия металлических деталей опор и фундаментов;
- ускоренный износ полимерных изоляторов из-за дефектов при изготовлении, транспортировке и монтаже.

Большая часть повреждений ВЛ связана с воздействием сверхрасчетных гололедно-ветровых нагрузок и с посторонними вмешательствами. Из этого следует, что для повышения надежности энергоснабжения при проектировании ВЛ необходимо существенно повысить точность определения климатических нагрузок в строгом соответствии с требованиями ПУЭ 7 (т. е. вероятность превышения расчетных климатических нагрузок должна быть не менее 0,96). При этом следует подчеркнуть, что в последние годы появилась тенденция к заметному изменению климатических условий в различных частях земного шара в части повышения вероятности возникновения сверх-

тяжелых условий как по гололеду и по ветру, так и по вероятности их совпадения. Поэтому вероятности превышения расчетных климатических нагрузок должны приниматься в пределах 0,96–0,998 (в зависимости от ответственности, класса напряжения ВЛ и требуемой надежности) – это актуальная рекомендация МЭК 60826 [9].

И, наконец, настоятельно необходим комплекс мероприятий по ограничению вандализма.

ВЫВОДЫ

1. В большинстве технологических нарушений идентифицировать старение собственно материалов компонентов ВЛ в качестве основной причины возникновения повреждений не представляется возможным.

2. Хотя начиная с 1950-х гг. расчетные климатические нагрузки для проектировщиков периодически ужесточались, а начиная с 2003 г. климатические нагрузки в соответствии с требованиями ПУЭ 7 принимаются с вероятностью их превышения 0,96, гололедно-ветровые воздействия, превышающие расчетные, по-прежнему являются основной причиной повреждаемости ВЛ.

3. Коррозия металлоконструкций опор и тросов, износ линейной арматуры, проводов в местах соприкосновения с гасителями вибрации и межфазовых распорок приводят к снижению прочности этих элементов, их повреждению при гололедно-ветровых воздействиях, что может приводить к значительным по масштабу разрушениям ВЛ.

4. После 30 лет эксплуатации ВЛ для поддержания их в рабочем состоянии необходимо проводить

постоянное обследование линий и ремонтные работы на них.

5. При проектировании ВЛ необходимо согласовывать уровни прочности различных компонентов ВЛ.

6. Необходимо разработать комплекс юридических и технологических мер по предотвращению повреждаемости ВЛ в результате любых посторонних воздействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев Л. В. Техническое состояние элементов ВЛ по данным об отказах // Энергетик, 2003, № 4.
2. Каверина Р., Коган Ф., Яковлев Л. Повышение надежности воздушных линий 35–750 кВ // Новости электротехники, 2007, № 5 (47).
3. Дикой В. П., Лаврентьев В. М., Сибирцев В. А., Федосенко Р. Я. Техническое состояние и надежность ВЛ 500 кВ, построенных в 1954–1960 гг. // Энергетик, 1999, № 2.
4. Бочковский Б. Б., Крылов С. В., Кузьмичева К. И., Тимашова Л. В., Хоециан К. В., Хубларов Н. Н., Шлейфман И. Л. Анализ условий эксплуатации высоковольтных линий и электрооборудования подстанций, рекомендации по продлению срока службы ВЛ и электрооборудования подстанций // VII Международный симпозиум «Электротехника 2010», ТРАВЭК, 26–30 мая 2003 г.
5. Зеличенко А. С. Результаты изучения опыта эксплуатации линий электропередачи напряжением 330–500 кВ. – М.: ЭСП, 1964.
6. Some investigations of the ageing of overhead lines / CIGRE, 1986, 22–09.
7. S. Iudica, R. Paschen. Towers of aged lines—studies and experience / CIGRE, 1992, 22–304.
8. H. A. W. Cornelissen, P. J. van Gestel, N. V. Kema. Maintenance approach for durable concrete foundations of high voltage towers / CIGRE, 1992, 22–303.
9. Design criteria of overhead transmission lines / IEC 60826:2003–10.

ИНФОРМАЦИЯ

КЛИМАТИЧЕСКИЕ
НАГРУЗКИ

Климатические нагрузки, влияющие на работу ВЛ, – это давление ветра на провода и опоры, а также масса и размеры гололедных отложений, действующие в различных сочетаниях.

Климатические нагрузки рассчитываются на основании данных многолетних наблюдений на метеорологических станциях с учетом приведения этих данных к условиям ВЛ. Проведено районирование территории Российской Федерации по климатическим нагрузкам с повторяемостью 1 раз в 25 лет, т. е. с вероятностью превышения этих нагрузок 0,96.

На территории Российской Федерации принято:

- 7 районов по ветровому давлению (скорости ветра) с выделением особого района с ветровым давлением свыше 1500 Па (скорость ветра выше 49 м/с);
- 7 районов по толщине стенки гололеда с выделением особого района с толщиной стенки гололеда выше 40 мм;
- 8 районов по ветровой нагрузке при гололеде с выделением особого района с нагрузкой более 28,0 Н/м.