

5. Базелян Э.М., Горин Б.Н., Левитов В.И. Физические и инженерные основы молниезащиты. — Л.: Гидрометеоздат, 1978.

6. Ларионов В.П., Колечицкий Е.С., Шульгин В.Н. Расчет вероятности прорыва молнии сквозь тросовую защиту. — Электричество, 1981, №5.

7. Wereshchagin I.P., Kalugina I.E. Analysis of the main influencing factors in the ground objects affection probability calculation by lightning. — 23rd Int. Conf. of Lightning Protection, Firenze (Italy), 1996.

8. Калугина И.Е. Развитие вероятностной методики расчета молниезащиты линий СВН и УВН. — Вестник МЭИ, 2008, № 1.

Автор: Калугина Инна Евгеньевна окончила электроэнергетический факультет (ныне Институт электроэнергетики) Московского энергетического института (МЭИ) в 1985 г. В 2003 г. защитила кандидатскую диссертацию «Разработка уточненной методики расчета числа ударов и прорывов молнии через тросовую защиту линий электропередачи» в МЭИ. Доцент кафедры техники и электрофизики высоких напряжений МЭИ.

* * *

Анализ грозовоповреждаемости распределительной сети 6–10 кВ на основе опыта эксплуатации (на примере Московской энергосистемы)¹

ВЕРЕЩАГИН И.П., ИЛЬИНА Е.В.

Представлен анализ многолетних сведений по грозовоповреждаемости распределительной сети 6–10 кВ, а также определены недостатки системы расследования грозových отключений. Выявлены элементы сети, наиболее подверженные грозovým нарушениям. Предложен ряд мероприятий по повышению молниезащищенности сети 6–10 кВ

Ключевые слова: *распределительная электрическая сеть, грозové повреждения, молниезащищенность*

Data on lightning-induced damageability of a 6–10 kV distribution network obtained for many years of its operation are analyzed, and drawbacks of the existing system used to investigate lightning-induced disconnections are determined. Network elements most susceptible to malfunctions due to lightning are revealed. Several measures for improving the lightning protection of a 6–10 kV network are proposed.

Key words: *distribution network, lightning-induced faults, lightning protection*

Надежность электроснабжения определяется безаварийной работой всех элементов электрической системы. Виды возможных повреждений оборудования многочисленны и не всегда поддаются диагностированию, так как во многих случаях имеет место невыясненная причина нарушения работы. Не всегда удается выделить удары молнии как основную причину аварии. В связи с этим большое значение приобретает всесторонний анализ условий возникновения и развития аварии непосредственно после того, как она произошла.

Стихийные явления и грозовоповреждаемость в структуре аварийности электросетевого оборудования. Грозové воздействия (прямые удары молнии и индуцированные атмосферные перенапряжения) входят в общую статистику аварийности электрооборудования как причины нарушений в категории «стихийные явления». Однако количественное выявление доли грозы среди стихийных явлений представляется достаточно сложным, поскольку по

нарушениям, вызванным грозowymi воздействиями, в большинстве энергосистем отдельный учет не ведется [1, 2]. Эксперты СПО «ОРГРЭС» проводят анализ технологических нарушений в работе энергосистем (аварий), в том числе, связанных со стихийными явлениями (табл. 1). Независимо от классификации (причина аварии, причина развития нарушения, событие отказа функционирования), доля нарушений по причине стихийных явлений достаточно высока: она составляет в разные годы от 8 до 50% и колеблется, в среднем, от 16 до 20% общего числа ежегодных системных нарушений.

Зарубежные энергосистемы не ведут общую статистику по стихийным явлениям как по причинам нарушений в энергосистемах, но выделяют долю грозových нарушений. Для оборудования большинства мировых энергетических компаний гроза является основным и наиболее опасным атмосферным воздействием. В данных отечественных энергосистем, напротив, есть общая статистика по стихийным явлениям, а грозové воздействия в отдельную категорию не выносятся.

¹Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

Таблица 1

Год	Общее число нарушений в работе энергосистем (100%)*	Число стихийных явлений (в скобках – % общего числа)		
		как причина нарушений работы энергосистем	как причина развития нарушений	как причина отказов функционирования
1988	7	2(29)	Не учитывались	
1989	7	1(14)		
1990	8	4(50)		
1991**	16	2(13)		
1992	18	Учитывались, но нет точных данных	4(20)	
1993	20		7(35)	
1994	20		4(20)	
1995	25		2(8)	3(12)
1996	25		3(12)	3(12)
1997	23	Не учитывались	2(9)	2(9)
1998	23		2(9)	3(13)
1999	26		2(8)	3(12)
2000	31		7(23)	12(39)

*С 1988 по 1994 г. фиксировалось «Общее число системных аварий».

**Данные за 1-й квартал.

По общей оценке экспертов грозовые воздействия составляют 1/4 часть стихийных явлений. Таким образом, на ВЛ 6–750 кВ примерно 10% технологических нарушений происходит из-за попаданий молнии. Зарубежный опыт эксплуатации показывает еще более высокий процент грозовоопасности электрооборудования: в США ежегодно 40–70% нарушений работы ВЛ вызваны попаданием молнии; в Колумбии – около 70%; в Японии – от 70 до 80% [3].

По опыту эксплуатации Московской энергосистемы (с 1981 по 2004 гг. – «Мосэнерго», с 2005 г. – ОАО «Московская объединенная электросетевая компания»), технологические нарушения из-за стихийных явлений ежегодно составляют 30 – 40%. Большая часть этих нарушений относится к воздушным линиям (ВЛ). Доля грозы среди стихийных явлений может составлять 6–10% всех повреждений ежегодно.

Расследование грозных нарушений сети 6–10 кВ.

Существующая система сбора информации о технологических нарушениях включает следующие этапы: сообщение о нарушении; расследование; учет и отчетность.

Информация, поступающая от оперативного персонала, обеспечивает выявление и своевременное оповещение специалистов о произошедшем нарушении. Эта информация пригодна для оперативного реагирования, но для учета и анализа ее обычно недостаточно, так как в ней указывается предварительная причина нарушения.

Расследование технологического нарушения проводится специально созданной комиссией, независимо от тяжести последствий нарушения. Комиссия должна оперативно прибыть на место для достоверной оценки обстоятельств и последствий нарушения. Основной (первичной) формой отчета о технологическом нарушении в работе оборудования является акт расследования.

Трудности в проведении расследования: сбор комиссии не всегда возможно провести оперативно; в связи с необходимостью быстро возобновить работу оборудования сложно обеспечить сохранность обстановки. Сложно или невозможно восстановить картину произошедшего, так как в некоторых случаях отсутствуют документальные подтверждения: осциллограммы, показания приборов, регистраторов мест повреждения.

Особенно характерны такие нарушения расследования для распределительных сетей 6–10 кВ, отсюда и значительное число нарушений «по невыясненным причинам». Это вызвано следующими особенностями нарушений в сети 6–10 кВ:

- менее тяжелые последствия нарушений, не связанные с повреждением сложного и дорогостоящего оборудования;

- необходимость срочного включения в работу оборудования для восстановления электроснабжения потребителей и в связи с этим отсутствие времени на расследование;

- недостаточная численность и низкая квалификация персонала;

плохая организация обмена информацией, неполная или искаженная информация, что обусловлено особенностями организационной структуры распределительных сетей.

Расследование грозовых нарушений сети 6–10 кВ также сопровождается значительными трудностями: отсутствуют постоянные наблюдения за грозовой активностью, поэтому не всегда можно связать нарушение с грозовым воздействием; не всегда очевидны следы воздействия молнии на оборудование; часто накладываются другие обстоятельства, затрудняющие расследование (например износ оборудования). В связи с этим результатам расследования присуща субъективность и неточность в определении причины нарушений.

Чтобы этого избежать, необходимо:

приступать к расследованию немедленно после обнаружения нарушения до начала восстановительных работ;

сфотографировать последствия нарушения, дефекты оборудования;

снять показания приборов регистрации и собрать свидетельства очевидцев, если они имеются;

собрать информацию о типе и дате ввода в эксплуатацию поврежденного оборудования;

проверить состояние соседнего оборудования;

отметить особенности рельефа и участка сети (открытая местность, вид грунта, параллельное прохождение воздушных линий или их сближение).

Информацию о причинах нарушения можно получить с помощью регистраторов короткого замыкания на ВЛ и приборов, контролирующих грозовую деятельность. Необходимо оснащать подобными датчиками наиболее ответственные участки сети. В комиссии по расследованию обязательно должен присутствовать специалист по молниезащите. Все это позволит более тщательно проводить расследования нарушений, в том числе грозовых, и уменьшить число нарушений «по невыясненным причинам».

Анализ данных по аварийности сети 6–10 кВ: отключения «по невыясненным причинам». Число нарушений в распределительной сети (РС) 6–10 кВ значительно превышает число нарушений в сетях 35 кВ и выше; то же можно сказать о подверженности воздействию стихийных явлений оборудования 6–10 кВ. Выделить из этого числа нарушения, связанные с грозой, значительно сложнее.

Причины этого заключаются в особенностях сети 6–10 кВ: большой объем оборудования; значительная протяженность ВЛ; прохождение ВЛ по местности с различными видами почвы и рельефа. Играет свою роль и сниженная электрическая прочность изоляции и значительная доля (по мень-

шей мере 35–40%) оборудования 6–10 кВ, которое выработало свой ресурс [4]. Имеют место недостатки технического обслуживания, монтажа оборудования (в том числе из-за нехватки или недостаточной квалификации персонала). Как следствие – появление «узких мест», в наибольшей степени подверженных атмосферным воздействиям.

Еще одна особенность сети 6–10 кВ – значительная доля отключений «по невыясненным причинам». По экспертным оценкам это – примерно 20–25% общего числа нарушений ежегодно. Распределительная сеть 6–10 кВ слабо оснащена автоматикой повторного включения (АПВ) и автоматикой включения резерва (АВР), поэтому большинство отключений приводит к перерыву в электроснабжении потребителя. Отключившийся участок включают в работу после обхода и осмотра. Если при осмотре не было обнаружено явных повреждений или причин отключения, то отключение считается произошедшим «по невыясненным причинам». Дальнейшее его расследование не проводится.

В Московской энергосистеме отключения «по невыясненным причинам», произошедшим во время прохождения грозовых фронтов, до 1994 г. относили к «грозовым». Предполагалось, что эти отключения вызваны воздействием индуктированных перенапряжений, возникших при ударе молнии вблизи оборудования. С 1995 г. отключения «по невыясненным причинам» перестали учитывать как грозовые, чтобы не исказить статистику. Учитываются только грозовые нарушения, связанные с повреждением оборудования. А по отключениям без повреждений оборудования, вызванным индуктированными перенапряжениями, даже приблизительно не оцениваются число и доля среди общего числа нарушений.

Для приблизительной оценки доли отключений питающих линий 6–10 кВ «по невыясненным причинам» и сопоставления с общей аварийностью РС 6–10 кВ были проанализированы оперативные данные по аварийности за 2008 г. – год с повышенной грозовой активностью, и за 2010 г. (рис. 1). При анализе не учитывались сведения о массовых отключениях сети от воздействий экстремальных стихийных явлений (ураганы, снегопады, «ледяной дождь», пожары в 2010 г.) из-за разницы в методах учета.

По графикам определяется примерное соотношение общего числа отключений и отключений «по невыясненным причинам», при этом отмечаются некоторые закономерности:

в летний период число отключений в РС 6–10 кВ возрастает (причинами могут быть не только повы-

шенная грозовая активность, но и вегетация древесно-кустарниковой растительности и пожароопасный период);

в период грозового сезона (с апреля по октябрь) возрастает и доля отключений «по невыясненным причинам»: в среднем, за год их число составляло 19,8% в 2008 г. и 15,8% в 2010 г.; в период грозового сезона – 21,8% и 15,7% соответственно.

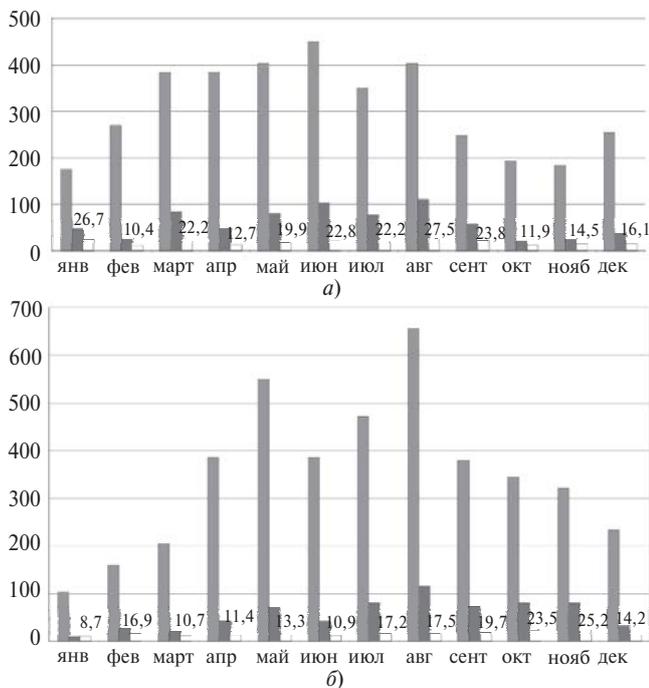


Рис. 1. Число отключений по неустановленным причинам в РС 6–10 кВ: а – 2008 г.; б – 2010 г.: ■ – всего; ■ – по неустановленным причинам; □ – доля неустановленных причин (% общего числа)

Рост числа отключений «по невыясненным причинам» во время грозового сезона вызван, в том числе, и воздействиями индуцированных атмосферных перенапряжений. Долю таких отключений в настоящее время можно выделить только экспертной оценкой, проводимой при сопоставлении данных по отключениям с данными по грозовой активности. Но, поскольку сведения по грозовой активности с 2006 г. отсутствуют, оценка проводилась еще более грубым методом: путем сопоставления имеющихся данных по нарушениям.

В год с повышенной грозовой активностью (2008 г.) в грозовой сезон произошел небольшой «всплеск» отключений «по невыясненным причинам», примерно на 2–5% в месяц. Это заметно по сравнению с летом 2010 г., для которого была характерна сухая и пожароопасная погода. Таким образом, максимальная доля отключений от индуцированных перенапряжений может составить порядка 2–5% отключений в месяц в течение грозового сезона, положительно коррелируя с грозовой активностью. За год это число составит от 1 до 2,5%

общего числа отключений РС 6–10 кВ. Уточнить эту цифру позволит более подробный анализ грозовых нарушений.

Анализ грозовывреждаемости РС 6–10 кВ. Данные по грозовывреждаемости распределительных сетей 6–10 кВ собирались на протяжении 30 лет с 1981 г., когда в «Мосэнерго» образовалась Центральная служба изоляции, защиты от перенапряжений и испытаний высоковольтного оборудования (ныне Центральная служба диагностики), специалисты которой организовали сбор и первичный анализ информации по грозовывреждаемости оборудования электрических станций и электросетей.

Сводный анализ данных по грозовывреждаемости сети 6–220 (500) кВ электрооборудования Московской энергосистемы в период с 1981 по 2010 гг. выявил следующее:

атмосферные перенапряжения являются причиной в среднем от 1 до 4% повреждений электрооборудования всех классов напряжения в год;

для сети 6–10 кВ эта цифра немного выше – от 2 до 5% ;

80–90% случаев грозовых повреждений в год относится к сети 6–10 кВ.

В табл. 2 представлены данные по грозовым нарушениям в Московской энергосистеме за период с 1981 по 2010 гг. Значительная разница в числе нарушений за разные годы связана с тем, что в период с 1981 по 1994 гг. в статистике по грозовым нарушениям в распределительной сети 6–10 кВ учитывались и отключения «по невыясненным причинам». Также колебания числа грозовых нарушений связаны с различной интенсивностью грозовой активности по годам.

В электросетевой компании (Московской энергосистеме) грозовые нарушения в РС 6–10 кВ составляют большую часть всех грозовых нарушений – 89,1% (с разбросом от 56,2 до 97% в год) за 30 лет наблюдений (рис. 2). Статистика подтверждает предположение о наибольшей подверженности грозовым воздействиям сети 6–10 кВ.

Доля нарушений оборудования 6–10 кВ из-за грозы от общего числа нарушений в распределительной сети 6–10 кВ за год (с 1981 по 2010 гг.) со-

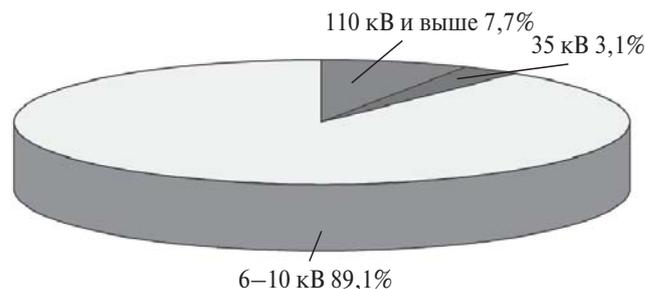


Рис. 2. Распределение грозовых нарушений оборудования по классам напряжения

Таблица 2

Год	Число грозových нарушений в сетях (в скобках – % общего числа нарушений)			
	Всего (100%)	110 кВ и выше	35 кВ	6–10 кВ
2010	43	7(16,3)	4(9,3)	32(74,4)
2009	34	2(5,9)	4(11,8)	28(82,3)
2008	109	16(14,7)	4(3,7)	89(81,7)
2007	48	15(31,3)	6(12,5)	27(56,2)
2006	51	8(15,7)	8(15,7)	35(68,6)
2005	31	6(19,4)	1(3,2)	24(77,4)
2004	42	6(14,3)	4(9,5)	32(76,2)
2003	41	5(12,2)	2(4,9)	34(82,9)
2002	13	2(15,4)	0(0,0)	11(84,6)
2001	86	10(11,6)	6(7,0)	70(81,4)
2000	55	5(9,1)	2(3,6)	48(87,3)
1999	49	3(6,1)	4(8,2)	42(85,7)
1998	68	5(7,4)	2(2,9)	61(89,7)
1997	82	6(7,3)	5(6,1)	71(86,6)
1996	116	5(4,3)	2(1,7)	109(94,0)
1995	124	5(4,0)	6(4,8)	113(91,1)
1994	107	8(7,5)	3(2,8)	96(89,7)
1993	134	5(3,7)	3(2,2)	12(94,0)6
1992	111	7(6,3)	0(0,0)	104(93,7)
1991	227	5(2,2)	2(0,9)	220(96,9)
1990	163	6(3,7)	0(0,0)	157(96,3)
1989	452	9(2,0)	5(1,1)	438(96,9)
1988	493	7(1,4)	8(1,6)	478(97,0)
1987	93	8(8,6)	8(8,6)	77(82,8)
1986	74	24(32,4)	2(2,7)	48(64,9)
1985	84	8(9,5)	4(4,8)	72(85,7)
1984	96	18(18,8)	2(2,1)	76(79,1)
1983	96	14(14,6)	0(0)	82(85,4)
1982	104	18(17,3)	1(1,0)	85(81,7)
1981	119	15(12,6)	7(5,9)	97(81,5)

ставила в среднем 3,3% с разбросом от 0,5 до 13,9% в год (см. рис. 3).

Статистика по грозovým нарушениям в сети 6–10 кВ стала резко снижаться, как только в ней перестали учитывать отключения «по невыясненным причинам». Значительный «всплеск» грозových нарушений сети 6–10 кВ, зарегистрированный в 1988–1991 гг., связан с повышенной грозовой активностью в эти годы.

Средний многолетний процент грозоповрежденной составил 3,3% общего числа нарушений сети 6–10 кВ в год. По экспертной оценке, проводимой

Таблица 3

Год	Число повреждений сети 6–10 кВ в результате грозовой деятельности			Отключения «по невыясненным причинам»	
	В линиях		На трансформаторных подстанциях		
	воздушных	кабельных			
2010	17	3	12	Не учитывались	
2009	9	3	16		
2008	45	21	23		
2007	19		26		
2006	24	3	8		
2005	18	0	7		
2004	23	0	9		
2003	23	0	11		
2002	9	0	2		
2001	47	0	23		
2000	28	0	20		
1999	28	2	12		
1998	36	0	25		
1997	33	0	38		
1996	67	0	42		
1995	67	0	46		
1994	50	0	36		10
1993	62	0	35		29
1992	49	0	31		24
1991	130	0	47		43
1990	53	0	29	75	
1989	97	0	69	129	
1988	66	0	31	36	
1987	Нет данных				
1986	37	0	11	0	
1985	53	0	19	4	
1984	65	0	11	0	
1983	Нет данных				
1982	49	0	36	0	
1981	Нет данных				
Итого	1204	34	655	350	

Примечания. 1. В 1981, 1983, 1987 гг. не делалась разбивка по месту отказа и типу поврежденного оборудования. 2. С 1981 по 1994 год включительно в «грозовой» статистике учитывались случаи отключений «по невыясненным причинам» (предположительно, индуктированные перенапряжения).

ранее, это значение составляло 6–10%. Разница между экспертной оценкой и статистикой может быть обусловлена следующим:

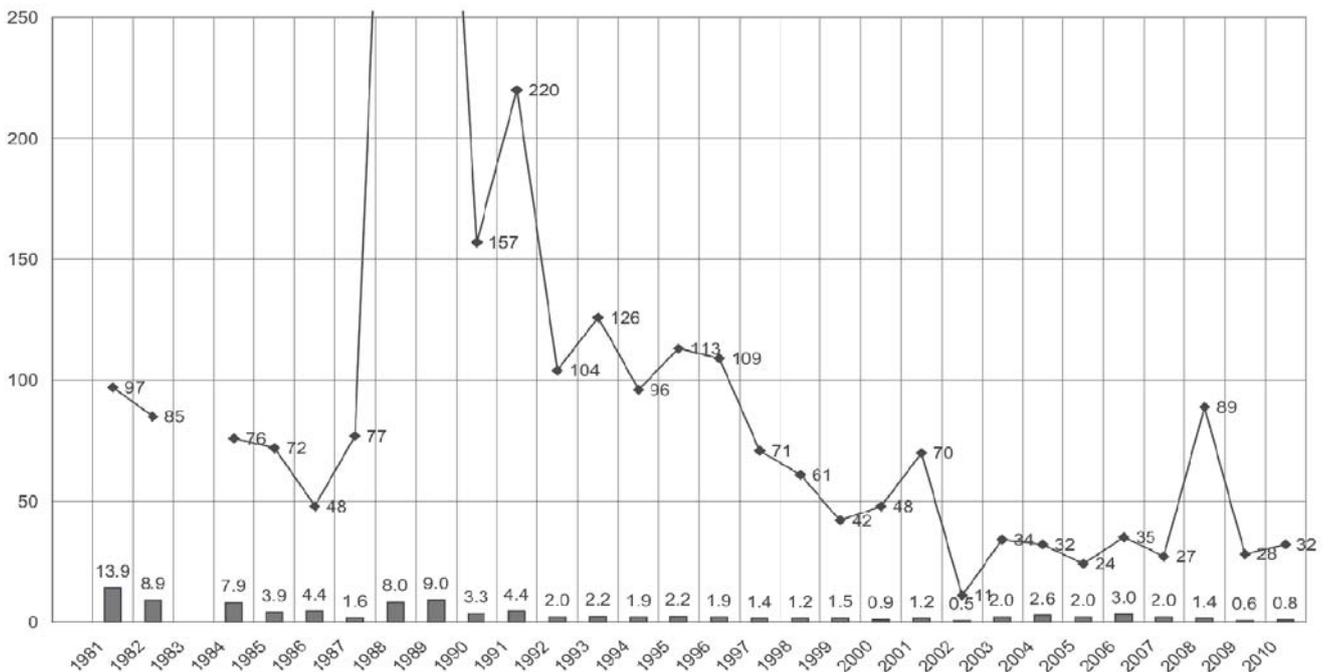


Рис. 3. Грозовые нарушения в сети 6–10 кВ: ■ – доля общего числа нарушений 6–10 кВ (%); ◆ – число грозовых нарушений (случаи)

экспертная оценка давалась усредненная, без учета климатических условий, а в Московском регионе грозовая активность относительно невысокая и составляет 40 грозовых часов в год [5, 6]; в регионах с более высокой грозовой активностью доля грозовых нарушений может быть выше;

в статистике может быть занижена доля грозовых нарушений из-за субъективности расследования;

не учитывались отключения от индуктированных перенапряжений.

С учетом отключений от индуктированных перенапряжений (ориентировочно 1–2,5% в год), всего из-за грозы происходит от 4,3 до 5,8% отключений сети 6–10 кВ в год. Даже для региона с относительно невысокой грозовой активностью это десятки и сотни технологических нарушений, сопровождающихся недоотпуском электроэнергии.

Также был проведен анализ грозовых повреждений распределительной сети 6–10 кВ по месту повреждения – элементу сети: воздушная линия (ВЛ) или кабельная (КЛ) трансформаторная подстанция (ТП) (см. табл. 3).

Из общего числа повреждений сети 6–10 кВ на оборудование ВЛ 6–10 кВ приходится 54% всех зарегистрированных грозовых повреждений (без учета отключений «по невыясненным причинам» – 64%), на оборудование ТП – 29% (34%), на расположенные открыто элементы кабельных линий (например, кабельные муфты или воронки) – 1–2%. Отметим, что основную долю (до 60%) недоотпуска

электроэнергии потребителю вносят технологические нарушения в работе ВЛ 6–10 кВ, в том числе нарушения из-за грозовых воздействий.

Для выявления особенностей грозовых повреждений сети 6–10 кВ анализировались также грозовые нарушения оборудования сети 35 кВ, которая занимает промежуточное положение между сетью 6–10 кВ и высоковольтными сетями 110 кВ и выше. Для электросетевой компании она также считается распределительной, поскольку подходит к потребителю, имеет достаточную разветвленность. В сети 35 кВ уровень изоляции ниже, чем в высоковольтных сетях 110 кВ, высока степень износа оборудования. При этом оборудование 35 кВ аналогично применяемому в сети 110 кВ: тросовый молниеотвод, опоры и линейная изоляция, выключатели и измерительные трансформаторы.

Так же как для сети 6–10 кВ, большая часть грозовых нарушений зарегистрирована на ВЛ – порядка 81,9%; нарушений на подстанциях (ПС) значительно меньше – 18,1%, а КЛ 35 кВ от грозы не повреждались. Это обусловлено значительной протяженностью ВЛ 35 кВ наряду с невысокой импульсной прочностью воздушной изоляции.

Классификация по видам поврежденного во время грозы оборудования сети 6–10 и 35 кВ приводится далее (%):

Вид оборудования	Сеть 6–10 кВ	Сеть 35 кВ
Опоры	20,4	11,2
Изоляция ВЛ	24,8	41,4

Провода	6,3	26,7
Линейные реакторы	2,3	-
Трос	-	3,4
Разрядники	64	4,3
Трансформаторы силовые	3,6	0,9
Коммутационные аппараты	5,6	3,4
Предохранители	1,4	-
Трансформаторы тока и напряжения	1,2	6,9
Изоляция ТП	15,2	1,7
Кабельные линии	1,2	-
воронки	7,3	-
муфты	3,9	-
Другое	0,4	-

В сети 6–10 кВ наиболее часто повреждаемое оборудование – изоляция ВЛ, опоры, изоляция ТП. Реже повреждаются кабельные воронки и муфты, провода, разрядники, коммутационные аппараты. Повреждения силовых трансформаторов ТП от грозы составляют до 3,6%, это обусловлено старением их изоляции и недостатками молниезащиты.

По сетям 35 кВ картина несколько отличается. Наиболее повреждаемым оборудованием, как и в сети 6–10 кВ, является линейная изоляция. Но доля таких повреждений значительно выше – примерно 2/5 всех повреждений. Чаше поражаются молнией провода 35 кВ, чем опоры. В сети 6–10 кВ опоры повреждаются более чем в 3 раза чаще проводов. Это обусловлено большей длиной пролетов ВЛ 35 кВ. Кроме того, в сети 6–10 кВ в эксплуатации много старых деревянных опор, подверженных разрушениям от ударов молнии. Характерно сравнительно небольшое число грозовых повреждений оборудования ПС 35 кВ. Так, повреждения силовых трансформаторов составляют 0,9%. Наиболее повреждаемое оборудование ПС 35 кВ – измерительные трансформаторы тока и напряжения, это связано с их конструкцией и свойствами изоляции. На КЛ 35 кВ не было зафиксировано случаев их грозоповреждаемости.

Грозоповреждаемость сети 6–10 кВ отличается значительным разнообразием, при этом «узкими местами» можно считать изоляцию и опоры ВЛ. На ТП наиболее подвержены грозовым повреждениям изоляция, коммутационные аппараты, силовые трансформаторы. Прежде всего необходимо повышать надежность молниезащиты перечисленного оборудования.

Повышение надежности молниезащиты распределительной сети 6–10 кВ. В настоящее время в эксплуатации находятся два вида РС 6–10 кВ:

1) «старая» сеть – строилась в основном в 1950–1960 гг., имеет значительный износ оборудования, старение изоляции, нуждается в капитальном ремонте; ее аварийность в эксплуатации будет постоянно расти, в том числе, в результате грозовых воздействий; для этой сети характерна распространенность, протяженность, массовость;

2) «новая» сеть – воздушные линии с использованием изолированных защищенных проводов (ВЛЗ); эта сеть имеет небольшую протяженность; в целом доля сетей с ВЛЗ невелика (несколько тысяч километров из 1150 тыс. км сельских сетей 6–10 кВ в Российской Федерации). Однако сеть с ВЛЗ имеет хорошую перспективу развития. Особенности этой сети в эксплуатации: хорошая механическая стойкость, но большая опасность пережога при коротких замыканиях, замыканиях на землю. Опыт эксплуатации, в том числе опыт молниезащиты, недостаточный, в основном известный из зарубежных источников.

Каждый этих видов сети 6–10 кВ имеет свои особенности, и рекомендации по улучшению их молниезащиты также будут различны. Даже последняя редакция ПУЭ не учитывает появления нового оборудования и защитных аппаратов, схем, условий эксплуатации. В настоящее время при проектировании и пересмотре проектов молниезащиты требования ПУЭ учитываются как минимально необходимые.

В качестве мер по повышению надежности молниезащиты распределительной сети помимо традиционных организационных мероприятий (ревизия, ремонт, реконструкция и замена оборудования) предлагается использовать накопленный опыт по молниезащите сетей высокого напряжения, а также новые технические решения.

В последнее время появилось много разработок в области молниезащитного оборудования для распределительных сетей. Это длинноискровые петлевые разрядники (РДИП), ограничители перенапряжений (ОПН) – обычные и с искровыми промежутками, тросовые молниеотводы и молниеприемники и т.п. Однако из-за отсутствия опыта эксплуатации и подробного описания конструкции и принципа действия многих видов защитных аппаратов электросетевым предприятиям и проектным организациям сложно ориентироваться в этом многообразии.

В данной ситуации необходимо разработать отраслевой нормативный документ по молниезащите оборудования распределительных сетей, в котором будет обобщен накопленный опыт эксплуатации систем молниезащиты и учтены новые виды оборудования и технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Анализ** причин технологических нарушений в работе электроустановок. Ежегодные выпуски. — М.: Союзтехэнерго. Служба передового опыта ОРГРЭС, 1990–1998, 2001.
2. **Анализ** нарушений в работе электроустановок и рекомендации персоналу. Ежегодные выпуски. — М.: Союзтехэнерго. Служба передового опыта ОРГРЭС, 1990–1995.
3. **Верещагин И.П., Калинин А.В.** Новые подходы в обеспечении молниезащиты воздушных линий и подстанций. — Новое в российской электроэнергетике, 2004, № 3.
4. **Воротницкий В.Э.** Повышение эффективности управления распределительными сетями. — Энергосбережение, 2005, № 10:
5. **Правила** устройства электроустановок (извлечения). — М.: ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2005.
6. **Правила** устройства электроустановок. Минэнерго СССР. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1985.
7. **Инструкция** по расследованию и учету технологических нарушений в работе энергосистем, электростанций, котельных, электрических и тепловых сетей. РД 34.20.801-2000. М.: ЗАО «Энергосервис», 2001 г.
8. **РД 153-34.3-35.125-99.** Руководство по защите электрических сетей 6–1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений/Под ред. Н.Н. Тиходеева. — СПб: Изд-во ПЭИПК, 1999.
9. **Методические** указания по защите распределительных электрических сетей напряжением 0,4–10 кВ от грозových перенапряжений. — М.: Изд-во ОАО «РОСЭП», 2004.

Авторы: Верещагин Игорь Петрович окончил электроэнергетический факультет Московского энергетического института (МЭИ) в 1955 г. В 1975 г. защитил докторскую диссертацию «Методы расчета электрического поля и поведения частиц при униполярном коронном разряде» в МЭИ. Профессор кафедры техники и электрофизики высоких напряжений МЭИ.

Ильина Елена Валентиновна окончила Институт электроэнергетики МЭИ (ТУ) в 2002 г. Ведущий специалист службы изоляции, защиты от перенапряжений и испытаний высоковольтного оборудования (СИЗПИ) ОАО «Московская объединенная электросетевая компания».