



РАО "ЕЭС России"
АООТ РОСЭП
(Сельэнергопроект)

**РУКОВОДЯЩИЕ
МАТЕРИАЛЫ
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
СЕЛЬСКОГО
ХОЗЯЙСТВА**

(РУМ)

7
2001

Москва

**СЕЛЬСКИЕ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
СЕТИ**

**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ОТКРЫТОГО ТИПА ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ
СЕТЕВЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

АООТ РОСЭП

**РУКОВОДЯЩИЕ
МАТЕРИАЛЫ
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
СЕЛЬСКОГО
ХОЗЯЙСТВА**

Июль

Москва 2001

С О Д Е Р Ж А Н И Е

стр.

07. Линии электропередачи 10(6) кВ

ИММ 07.01-2001 от 16.03.2001

Обзор голодно-ветровых аварий ВЛ 6-35 кВ.....1

**Акционерное общество открытого типа по проектированию
сетевых и энергетических объектов**

АООТ РОСЭП

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

**по проектированию, строительству и эксплуатации сельских
электрических сетей**

16.03.2001

07.01-2001

N

Москва

**/Обзор гололедно-ветровых
аварий ВЛ 6-35 кВ/**

Публикуем обзор гололедно-ветровых аварий и опыт эксплуатации ВЛ 6-35 кВ за последние 20 лет по отечественным и зарубежным данным.

Данный обзор выполнен для ознакомления проектировщиков, строителей и эксплуатационников с мероприятиями по борьбе с гололедно-ветровыми авариями на ВЛ 6-35 кВ с целью повышения надежности электроснабжения.

На основе настоящей работы АООТ «РОСЭП» разработало рекомендации по повышению надежности ВЛ 6-10 кВ со штыревыми изоляторами, в том числе, по применению проводов, опор, изоляторов, траверс и креплений проводов к штыревым изоляторам, обеспечивающих снижение вероятности гололедно-ветровых аварий и ущерба от них (арх.№21.0013).

С запросами по рекомендациям обращаться в АООТ «РОСЭП» (институт «Сельэнергопроект»).

111395, Москва, Аллея Первой Маевки, д.15.

Главный инженер проекта Ударов В.М. Тел-374-66-01,
Факс 374-66-08.

Приложение: обзор гололедно-ветровых аварий ВЛ 6-35 кВ.

Первый заместитель Генерального директора
АООТ РОСЭП

А.С.Лисковец

**Акционерное общество открытого типа по проектированию
сетевых и энергетических объектов**

АООТ РОСЭП

ОБЗОР

**гололедно-ветровых аварий на ВЛ 6-35 кВ
по отечественным и зарубежным данным**

Москва – 2001 г.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

стр.

1. Введение	4
2. Причины и характер аварий на ВЛ 6-35 кВ при гололедно-ветровых воздействиях	5
3. Обзор гололедно-ветровых аварий на ВЛ 6-10 кВ со штыревыми изоляторами по отечественным данным	8
4. Обзор гололедно-ветровых аварий на ВЛ 10-35 кВ с подвесными изоляторами по отечественным данным	35
5. Обзор гололедно-ветровых аварий на воздушных линиях среднего напряжения по зарубежным данным	47

1. Введение

В работе содержится обзор гололедно-ветровых аварий на ВЛ 6-10 кВ со штыревыми изоляторами и ВЛ 10-35 кВ с подвесными изоляторами за последние 20 лет по отечественным данным, приведен анализ опыта эксплуатации ВЛ 6-35 кВ с опорами из различных материалов, с алюминиевыми и стальалюминиевыми проводами различных сечений в обычных и особогололедных районах.

В работе приведены сведения о недостатках строительства, эксплуатации ВЛ.

Кроме того, приведен обзор гололедно-ветровых аварий на воздушных линиях среднего напряжения по зарубежным данным и обобщен опыт ряда стран по борьбе с гололедно-ветровыми авариями.

В данной работе использованы сведения, предоставленные энергосистемами страны, акты расследования аварий ВЛ, работы, выполненные АООТ «РОСЭП», АО «Фирма ОРГРЭС», данные Интернета, журналов «Transmission and Distribution», «Electrical World» и др.

2. Причины и характер аварий на ВЛ 6-35 кВ при гололедно-ветровых воздействиях

Ежегодно в распределительных сетях напряжением 6-35 кВ происходят тяжелые гололедно-ветровые аварии, наносящие значительный ущерб экономике страны.

При этом разрушается большое количество опор ВЛ. Не обеспечивается надежное электроснабжение потребителей I и II категорий.

Необходимо отметить, что происходящие аварии на существующих ВЛ 6-35 кВ в определенной степени предопределены действующими на момент их строительства нормами, а также капитальностью построенных линий.

ВЛ 6-20 кВ

Характер разрушений ВЛ 6-20 кВ к настоящему времени выявлен достаточно полно.

При авариях наблюдаются:

- массовые обрывы алюминиевых проводов (А-50 и ниже);
- разрушение промежуточных опор односторонним тяжением проводов вдоль ВЛ, и их разрушение поперек ВЛ, в первую очередь, загнивших деревянных опор;
- выдергивание, с последующим разрушением, сложных опор тяжением проводов;
- разрушение штыревых изоляторов или их срыва со штырей тяжением проводов на опорах анкерного типа.

Причины гололедно-ветровых аварий:

1. Дефекты изготовления конструкций.
2. Нарушение проектных решений при строительстве.
3. Недостатки эксплуатации.
4. Значительное превышение фактических гололедно-ветровых нагрузок в сравнении с расчетными.
 1. Дефекты изготовления:
 - Нарушение проектного положения и количества стержней рабочей арматуры железобетонных стоек и приставок.
 - Низкое качество антисептирования деревянных деталей на МПЗ и низкий уровень заводской готовности.
 2. Нарушение проектных решений при строительстве:
 - Замена железобетонных стоек СВ110-3,5 на СВ110-2,5.
 - Замена сталеалюминиевых проводов на алюминиевые.
 - Установка сложных опор без анкерных плит и ригелей.
 - Установка нетиповых стальных конструкций.

-Повреждение проводов при их раскатке и натяжке из-за отсутствия монтажных роликов и др. устройств, предохраняющих провода при монтаже. Перетяжка проводов в 1,5-2 раза.

-Неверная установка железобетонных стоек по отношению к оси ВЛ (установлены большей прочностью вдоль ВЛ).

-Применение проволочных вязок проводов к изоляторам вместо зажимов ЗАК-10-1.

-Ненадежное крепление штыревых изоляторов на сложных опорах; ненадежное крепление проводов к изоляторам.

-Повреждение железобетонных стоек и приставок при транспортировке.

3. Недостатки эксплуатации:

-Отсутствие контроля за качеством строительства, за выполнением строительства в соответствии с проектами.

-Несвоевременная замена загнивших элементов деревянных опор.

-Отсутствие аварийных запасов конструкций.

4. Превышение фактических гололедно-ветровых нагрузок над расчетными.

Представляется, что уровень расчетных гололедных нагрузок для расчетов механической части ВЛ 6-20 кВ должен быть дополнительно обоснован, а повторяемость расчетных нагрузок должна составлять не менее 25 лет.

При этом необходимо учитывать, что

-Среднегодовые объемы разрушений опор ВЛ 6-20 кВ, вызванные, в основном, обрывами проводов, уже сейчас велики и составляют от количества установленных опор в среднем по энергосистемам 0,2%, в наиболее аварийных РЭУ 1-2%, а в отдельные годы, например, в Липецкэнерго, достигает 3%.

-Количество эксплуатационного персонала в сетях 10 кВ для эксплуатации и для восстановления недостаточно, а качество послеаварийного восстановления ВЛ, как правило, низкое.

Анализ данных метеорологических станций показывает, что гололедные нагрузки повторяемостью 1 раз в 25 лет (средний срок службы ВЛ 10 кВ) для европейской части страны ниже широты 60° и для ряда других районов страны в 3,5 раза и более превышают нормативные нагрузки (в соответствии с ПУЭ коэффициент перегрузки равен 2,0). Такие нагрузки (с K=3,5) приводят к обрывам проводов некоторых марок и сечений.

Применительно к расчету опор ВЛ 6-20 кВ, превышение гололедно-ветровых нагрузок над расчетными означает, что фактические нагрузки от давления ветра на провода ВЛ (и на стойки) при гололеде превышают нагрузки, определяемые в соответствии с ПУЭ (при

нормативной стенке гололеда, половине скорости ветра и коэффициенте перегрузки, равном 1,4).

Так, например, нагрузка от давления ветра на провод А50, покрытый гололедом, в Ш районе по ветру и гололеду составляет в соответствии с ПУЭ – 0,9 кг/п.м. Фактическая же нагрузка при диаметре гололедных отложений 70 мм и скорости ветра 25 м/сек (Липецкая обл., ноябрь 1981 г.) составляла 3,4 кг/п.м.

Такие перегрузки должны привести к массовым обрывам проводов и разрушению опор ВЛ.

Большое расхождение фактических и расчетных данных, в значительной степени, объясняется недостатками методик по определению гололедно-ветровых нагрузок, а именно:

- плотность гололеда 0,9 г/см³, принятая в ПУЭ, зачастую в 2-3 раза выше наблюдаемой;

- скорость ветра при гололеде, условно принимаемая равной 50% от максимальных значений, также в ряде случаев не соответствует фактическим значениям;

- измерение толщин стенок гололеда на метеостанциях производится на высоте 2м над землей, что в ряде случаев не позволяет точно определить фактические нагрузки на высоте 10-15 м, не всегда учитывается степень закрытости метеостанций.

ВЛ 35 кВ

ВЛ 35 кВ значительно устойчивее к гололедно-ветровым нагрузкам, чем ВЛ 10 кВ. Удельное количество массовых отказов на ВЛ 35 кВ в 3 раза меньше, чем на ВЛ 10 кВ, что является приемлемой для страны в целом величиной сравнительно с ВЛ 10 кВ. Поэтому в настоящее время не поднимается вопрос о необходимости повышения механической надежности ВЛ 35 кВ при воздействии предельных нагрузок.

Количество одиночных отказов в работе ВЛ 35 кВ, в соответствии с данными ОРГРЭС, почти в 20 раз меньше числа отказов в работе ВЛ 10 кВ. Более низкая аварийность ВЛ 35 кВ в сравнении с ВЛ 10 кВ объясняется наличием повышенных запасов прочности у конкретных проводов и стоек опор в условиях их применения на ВЛ 35 кВ.

3. Обзор гололедно-ветровых аварий на ВЛ 6-10 кВ со штыревыми изоляторами по отечественным данным

Гололедно-ветровые воздействия являются наиболее частыми причинами аварий на ВЛ. Так, в среднем за 1980-1996 гг. аварии на ВЛ распределялись по классификационным группам следующим образом:

- из-за сильного ветра (группа 4.3) – 47,7%;
- из-за гололеда (группа 4.2) – 17,7%;
- из-за грозы (группа 4.1) – 7,5%;
- вследствие других стихийных явлений (группа 4.4) – 12,1%;
- по вине посторонних лиц (группа 3) - 7,5%;
- по вине персонала энергоуправления (группа 1) – 2,8%;
- по прочим причинам (группа 5) - 4,7%.

Ниже приводятся данные по гололедно-ветровым авариям на ВЛ 6 – 20 кВ со штыревыми изоляторами за 1980 – 2000 гг.

В распределительных электрических сетях 6-20 кВ в 1980 г. произошло 107 аварий, 8431 отказов в работе I степени и 209225 отказов в работе II степени.

Число аварий по причинам стихийных явлений в 1980 г. составило 85% от общего числа аварий. Больше половины аварий по причинам стихийных явлений произошло вследствие сильного ветра и пятая часть – по причине гололеда.

Данные аварии имели наиболее тяжелые последствия: отключилось 3708 ВЛ, повреждено 5164 опоры, произошло 7970 обрывов проводов. Среднее время перерыва энергоснабжения потребителей первой категории составляло 8,38 ч при авариях по причине гололеда и 10,73 ч при авариях по причине сильного ветра; для потребителей второй категории перерывы, соответственно, составили 12,44 и 7,13 ч.

Аварий по причине сильного ветра в 1980 г произошло 51; они составили 56% от общего количества аварий из-за стихийных явлений. При авариях отключались 2163 ВЛ. Количество потерявших работоспособность опор 2437; повреждений проводов - 3201 мест, разрушенных изоляторов - 1028 шт. Суммарный недоотпуск электроэнергии составил 7747 тыс. кВт·ч; средняя длительность восстановления электроснабжения по ВЛ потребителей I категории - 10,73 ч, II категории - 7,13 ч; III категории - 15,42 ч.

Наиболее крупные аварии по причине сильного ветра в 1980 г. произошли в Целинэнерго, Киевэнерго и Львовэнерго.

В Целинэнерго 20 марта вследствие ветра скоростью 30-32 м/с со снегом произошла авария, при которой произошел 21 обрыв

проводов, повреждено 2 опоры, разрушено 8 изоляторов, недоотпуск электроэнергии составил 203 тыс.кВт·ч.

В Киевэнерго 25 - 30 июня вследствие шквального ветра, скорость которого доходила до 30-35 м/с, сильной грозы и ливневого дождя в течение двух суток произошло 146 обрывов проводов, повреждено 102 опоры, недоотпуск электроэнергии составил 344 тыс. кВт·ч.

Во Львовэнерго 21- 23 августа от сильного порывистого ветра (скорость 25-30 м/с) и ливневого дождя с грозой произошла авария. В результате аварии повреждено 784 опоры, произошло 1395 обрывов проводов; недоотпуск электроэнергии составил - 257 тыс.кВт·ч.

Аварии вызывали наиболее длительные перерывы электроснабжения потребителей. Перерывы электроснабжения потребителей первой и второй категорий превышали нормативные в несколько раз. Аварии явились следствием, в первую очередь, несоответствия расчетных условий, принятых при проектировании ВЛ, фактическим.

Аварий по причине гололеда в 1980 г было 19 (20,9% от общего числа аварий из-за стихийных явлений), при этом отключилось 1545 ВЛ, недоотпуск электроэнергии составил 7619,56 тыс. кВт·ч. Было повреждено 2727 опор, произошло 3896 обрывов проводов. Средняя длительность восстановления (перерыва) электроснабжения по ВЛ потребителей составила: потребителей I категории - 8,34 ч; II категории - 12,44 ч; III категории - 18,18 ч.

Почти половина аварий произошла на юге европейской части страны. Аварии в этой зоне имели наиболее тяжелые последствия. Крупные аварии произошли в Днепроэнерго, Краснодарэнерго, Молдглавэнерго и Ставропольэнерго.

25 марта 1980 г. в Днепроэнерго в результате гололеда и ветра при сильном дожде (толщина стенки гололеда достигала 24-29 мм, скорость ветра - 7-10 м/с) произошла авария, при которой произошел 721 обрыв проводов, повреждено 578 опор; недоотпуск электроэнергии составил 4693,6 тыс. кВт·ч.

В Краснодарэнерго, в котором имеются особогололедные районы, 9 декабря в процессе гололедообразования возникла пляска проводов; толщина стенки гололеда достигала 25-27 мм, скорость ветра - 25-27 м/с. В результате аварии произошло 103 обрыва проводов, повреждено 11 опор; недоотпуск электроэнергии составил 251,2 тыс. кВт·ч.

В Молдглавэнерго 6-11 ноября от гололеда толщиной стенки до 20 мм при ветре скоростью 10 м/с повреждено 387 опор,

произошло 164 обрыва проводов, недоотпуск электроэнергии составил 121,2 тыс. кВт·ч.

1 января в Ставропольэнерго, в котором преобладают особогололедные районы, произошла авария из-за сильного гололедообразования. Толщина стенки гололеда местами достигала 100 мм, гололедообразование происходило при сильном ветре, скорость которого достигала 20-25 м/с. Последствия аварии следующие: отключились 72 ВЛ 6-10 кВ, повреждено 482 опоры, произошло 449 обрывов проводов, недоотпущенено 248,83 тыс. кВт·ч электроэнергии.

В 1981 г. в распределительных электрических сетях 6-20 кВ произошли 154 аварии, 8468 отказов I степени, 229243 отказа II степени. Половина аварий возникла из-за сильного ветра и около 20% из-за гололеда.

Основной причиной гололедно-ветровых аварий явилось превышение фактических внешних сил (давления ветра, массы гололеда и мокрого снега) над расчетными.

При расследовании аварий было установлено, что увеличению масштабов разрушений ВЛ при гололедно-ветровых авариях способствовали недостатки эксплуатации, материально-технического обеспечения, а также недостатки, допущенные при проектировании и строительстве ВЛ.

В частности, было установлено, что со стороны эксплуатирующих организаций не проводился эффективный технический контроль за качеством строительства ВЛ, особенно за заделкой конструкций опор в грунте, монтажом провода и качеством крепления проводов к изоляторам.

Вновь сооруженные и реконструированные ВЛ принимались в эксплуатацию с дефектами и недоделками.

Ширина просек в лесных массивах не соответствовала принятым нормам.

Несвоевременно проводились плановые ремонты.

Увеличение длительности восстановления электроснабжения при гололедно-ветровых авариях во многом было вызвано недостатками материально-технического обеспечения, в частности:

- предприятия не были обеспечены в необходимых количествах древесиной и другими материалами для проведения плановых ремонтов;
- предприятия электрических сетей были недостаточно укомплектованы вездеходным автотранспортом и механизмами;
- наблюдался острый дефицит бензина;

- предприятия не были укомплектованы аварийным запасом материалов, не были обеспечены мобильными радиостанциями.

При обследовании ВЛ 6 – 20 кВ были также выявлены грубые дефекты строительства, в частности:

- анкерные опоры были установлены без анкерных плит и ригелей;
- нередки были случаи недозаглубления элементов анкерных опор;
- в ряде случаев недостаточно уплотнялся грунт при заделке конструкции опоры в грунте;
- при монтаже провода не использовались раскаточные ролики, провода вытягивались с помощью механизмов по траверсам опор, что приводило к их повреждению;
- не обеспечивалось нормальное регулирование проводов.

Кроме того, увеличение масштабов разрушений при гололедно-ветровых авариях было связано и с недостатками проектирования, в том числе, с тем, что при проектировании не разрабатывались схемы и устройства автоматической плавки гололеда, и с тем, что прокладка трасс ВЛ производилась по кратчайшему пути без учета необходимости доступа к ВЛ в любое время года при любых погодных условиях.

Из-за сильного ветра в 1981 г. произошло 70 аварий, что составляет около 50% общего количества аварий.

Наиболее крупные аварии произошли в Молдглавэнерго, Винницаэнерго, Одессаэнерго, и Белглавэнерго.

В период со 2 по 6 и с 9 по 12 декабря 1981 г. в Молдглавэнерго вследствие сильного ветра, скорость которого при порывах достигала 40 м/с, а также мокрого снега, налипшего на провода, произошла авария, при которой отключились 1352 ВЛ, потеряли работоспособность 2653 опоры, произошло 1799 обрывов проводов; недоотпуск электроэнергии составил 1527,1 тыс. кВт·ч.

В Винницаэнерго со 2 по 11 ноября под действием сильного порывистого ветра, скорость которого доходила до 30-35 м/с, а также мокрого снега, налипшего на провода, произошло отключение 892 ВЛ, потеряна работоспособность 2090 опор, произошел 2841 обрыв проводов, оборвана 721 вязка; недоотпуск электроэнергии составил 6,25 тыс. кВт·ч.

В Одессаэнерго 9 ноября при порывистом ветре со скоростью 40 м/с и мокром снеге отключилось 890 ВЛ, потеряна

работоспособность 2138 опор, произошло 3424 обрыва вязок; недоотпуск электроэнергии составил 6100 тыс. кВт·ч.

С 1 по 30 декабря в Белглавэнерго вследствие сильного ветра, скорость которого достигала 21 м/с, отключилось 915 ВЛ, потеряло работоспособность 75 опор, произошло 367 обрывов проводов, 1776 обрывов вязок; недоотпуск электроэнергии составил 286,24 тыс. кВт·ч.

При каждой аварии из-за сильного ветра с налипанием мокрого снега в 1981 г. в среднем отключалось 170 ВЛ, теряло работоспособность 245 опор, происходило 220 обрывов проводов.

Перерывы электроснабжения потребителей I и II категории превышали нормативные в несколько раз.

Из-за гололеда в 1981 г. произошло 25 аварий. Почти треть всех аварий произошла на юге страны. Крупные аварии произошли также в Ленэнерго, Тамбовэнерго, Литовглавэнерго и Белглавэнерго.

В период с 1 по 15 января в Ленэнерго произошла авария, вследствие которой отключилось 186 ВЛ, потеряли работоспособность 36 опор, произошло 218 обрывов проводов, недоотпуск электроэнергии составил 123,126 тыс. кВт·ч.

Авария произошла вследствие воздействия сверхрасчетных сил, возникших в результате интенсивного гололедообразования и порывистого ветра со скоростью 18 м/с.

В Литовглавэнерго 21-26 декабря произошла самая крупная авария рассматриваемой классификационной группы: отключилось 915 ВЛ; потеряли работоспособность 2750 опор; произошло 911 обрывов проводов; недоотпуск электроэнергии составил 301,982 тыс. кВт·ч.

Авария произошла от воздействия сверхрасчетных нагрузок - гололеда с толщиной стенки 50 мм (масса 1 пог.м 8,86 кг) и ветра со скоростью 30-34 м/с.

В Белглавэнерго с 1 по 29 ноября при сильном гололеде, толщина стенки которого доходила до 23 мм, в сочетании с мокрым снегом и дождем, произошла крупная авария, вследствие которой отключилось 716 ВЛ, потеряли работоспособность 322 опоры, произошло 1067 обрывов проводов; недоотпуск электроэнергии составил 679,62 тыс. кВт·ч.

При анализе аварии было установлено, что на ряде предприятий электрических сетей не созданы гололедные посты, а организованные посты не оснащены сигнальными устройствами и инструментом.

Следует отметить, что при авариях из-за гололеда продолжительность восстановления электроснабжения потребителей I и II категорий и потерявшую работоспособность ВЛ производилась со

значительной задержкой вследствие больших масштабов разрушений, недостатка рабочей силы, вездеходного автотранспорта, древесины.

Количество аварий, классифицированных из-за других стихийных явлений, достигло в 1981 г. 24 (15,6%). Наиболее тяжелые аварии произошли в Молдглавэнерго, Липецкэнерго и Воронежэнерго.

В Молдглавэнерго 16-18 сентября вследствие ливневого дождя и ветра, скорость которого достигала 24 м/с, произошла авария, при которой отключилось 251 ВЛ; недоотпуск электроэнергии составил 331,5 тыс. кВт·ч.

В Липецкэнерго 3-4 ноября произошла авария, при которой отключилось 260 ВЛ, произошло 226 обрывов проводов, потеряло работоспособность 5005 опор; недоотпуск электроэнергии составил 1151,535 тыс. кВт·ч. Эта авария произошла в результате сочетания воздействия гололеда, мокрых масс снега и ветра, скорость которого достигала 24-28 м/с.

В период 14-15 декабря произошла авария в Воронежэнерго. Причина аварии - сильный порывистый ветер со скоростью до 24-28 м/с в сочетании с гололедом и мокрым снегом, толщина стенки которых достигала 30-35 мм. Последствия аварии: отключилось 290 ВЛ; произошло 1275 обрывов проводов; недоотпуск электроэнергии составил 1234,7 тыс. кВт·ч.

В 1982 г. в распределительных электрических сетях 6-20 кВ произошло 75 аварий, 8312 отказов I степени, 202854 отказов II степени.

Из-за сильного ветра произошла 51 авария, что составило около 70% от общего количества аварий.

Наиболее крупные аварии произошли в Белглавэнерго, Литовглавэнерго, Львовэнерго, Рязаньэнерго.

В Белглавэнерго в 1982 г. произошли две крупные аварии. Первая авария произошла в период 1-12 января: вследствие сильного ветра, скорость которого при порывах достигала 25 м/с, и осадков, связанных с сильным перепадом температур, отключились 605 ВЛ, произошло 265 обрывов проводов; недоотпуск электроэнергии составил 263 тыс.кВт·ч.

Вторая авария произошла 15-20 декабря. При сильном ветре, скорость которого при порывах достигала 28 м/с, при метели и мокром снеге, налипшем на провода, произошло отключение 945 ВЛ 6-20 кВ, разрушена 51 опора, произошло 400 обрывов проводов и вязок.

В Литовглавэнерго 15-17 декабря при порывистом ветре со скоростью 35 м/с отключилось 307 ВЛ 6-20 кВ, потеряла

работоспособность 81 опора, произошло 387 обрывов проводов и 66 вязок; недоотпуск электроэнергии составил 538 тыс. кВт·ч.

Во Львовэнерго в период с 15 по 18 декабря из-за сильного ветра, скорость которого достигала 33 м/с, отключилось 235 ВЛ 6-20 кВ, потеряли работоспособность 356 опор и 717 изоляторов, произошло 373 обрыва проводов и 494 обрыва вязок; недоотпуск электроэнергии составил 291 тыс. кВт·ч.

В Рязаньэнерго 18-19 октября из-за сильного ветра отключились 174 ВЛ 6-20 кВ, потеряли работоспособность 488 опор, произошло 1173 обрыва проводов, недоотпуск электроэнергии составил 774 тыс. кВт·ч.

При каждой аварии из-за сильного ветра в среднем отключалось 114 ВЛ 6-20 кВ, теряло работоспособность 50 опор, происходил 121 обрыв проводов.

Аварии явились следствием несоответствия расчетных сил, принятых при проектировании ВЛ, фактическим, а также загнивания сверх допустимых значений деревянных опор, которые не были полностью заменены при плановых ремонтах в ряде случаев из-за недостаточного снабжения лесоматериалами.

В ряде случаев аварии возникали или развивались вследствие недостаточной механической прочности подвешенных на ВЛ проводов марок А и ПС и наличия стеклянных изоляторов, имеющих недостаточную механическую прочность.

Большая продолжительность перерывов электроснабжения потребителей была обусловлена также неукомплектованностью ПЭС и РЭС воздушным транспортом, радиостанциями, аварийным запасом материалов, недостаточной численностью ремонтного персонала, отсутствием передвижных дизельных электростанций.

В 1982 г. произошли три аварии из-за гололеда. Аварии произошли в Союзапсибэнерго и Запказэнерго.

В период с 1 по 3 октября в Тюменьэнерго при температуре 0°C, максимальной скорости ветра 10 м/с началось обильное выпадение мокрого снега и отложение гололеда на проводах; диаметр гололедных отложений достиг 27-28 мм (без учета образовавшихся сосулек).

Отложение гололеда на проводах привело к превышению удельной нагрузки на провод А-35 в 1,4 раза против расчетной (без учета ветровой нагрузки).

В результате аварии отключилось 37 ВЛ 6-20 кВ, разрушена 41 опора, произошло 182 обрыва проводов; недоотпуск электроэнергии составил 514 тыс. кВт·ч.

В период 30 ноября - 18 декабря в Запказэнерго наблюдались колебания температуры от -5 до +5°C, туманы, что

способствовало интенсивному образованию гололедно-изморозевых отложений. Неравномерность нагрузок на провода вызвала схлестывания и обрывы проводов.

В результате отключилось 33 ВЛ 6-20 кВ, на которых разрушено 452 опоры, произошло 458 обрывов проводов; недоотпуск электроэнергии составил 170 тыс. кВт·ч.

Количество аварий, классифицированных по причине других стихийных явлений, составило в 1982 г. 18.

Наиболее тяжелые аварии произошли в Ивэнерго, Краснодарэнерго, Молдглавэнерго.

В Ивэнерго причиной аварии 18-19 октября явилось обильное выпадение осадков в виде дождя и мокрого снега при сильном ветре, порывы которого достигали 25 м/с, температура снижалась до -10°C. Произошло налипание мокрого снега на провода, что привело к повреждению и отключению 150 ВЛ 6-20 кВ, повреждению 40 опор; произошло 150 обрывов проводов и 89 обрывов вязок; недоотпуск электроэнергии составил 287 тыс. кВт·ч.

В Молдглавэнерго авария 2-3 февраля произошла из-за сильного ветра и налипания мокрого снега на провода. Отключилось 102 ВЛ 6-20 кВ, разрушено 158 опор, произошло 762 обрыва проводов и 1292 обрыва вязок; недоотпуск электроэнергии составил 172,5 тыс. кВт·ч.

В Краснодарэнерго 30 – 31 декабря произошла авария из-за сильного ветра порывами до 21 м/с с одновременным выпадением мокрого снега. Произошло налипание снега на провода; возникшая при этом вибрация и «пляска» проводов вызвали многочисленные обрывы проводов и вязок, схлестывания проводов, изломы опор и траверс.

Отключилось 198 ВЛ 6-20 кВ, потеряли работоспособность 473 опоры, произошло 468 обрывов проводов и 296 обрывов вязок; недоотпуск электроэнергии составил 253 тыс. кВт·ч.

Как и в предыдущие годы, тяжесть гололедно-ветровых аварий в 1982 г. усугублялась имеющимися недостатками эксплуатации, материально-технического обеспечения и проектирования ВЛ.

В 1983 г. в распределительных электрических сетях 6-20 кВ произошло 66 аварий, 8097 отказов I степени, 202738 отказов II степени.

Из-за сильного ветра произошло 37 аварий. Наиболее крупные аварии произошли в первой половине марта в Азглавэнерго, Львовэнерго, Киевэнерго, Молдглавэнерго, а также в конце года в Латвэнерго.

В Азглавэнерго 8 – 9 марта скорость ветра при порывах достигала 35 – 40 м/с. На территории республики наблюдались значительные разрушения крыш домов, деревья вырывались с корнями.

В результате аварии отключилась 221 ВЛ 6-20 кВ, потеряли работоспособность 2253 опоры, недоотпуск электроэнергии составил более 1500 тыс. кВт·ч.

Во Львовэнерго в период 7 – 9 марта из-за сильного ветра, местами штормового с порывами до 40 м/с, отключились 433 ВЛ 10 кВ, повреждено 639 опор, произошло 1322 обрыва проводов, недоотпуск электроэнергии составил около 1100 тыс. кВт·ч.

В Молдглавэнерго 7 - 8, 11 - 12 марта из-за сильного ураганного ветра, скорость которого достигала 35 м/с, наблюдались массовые отключения ВЛ 10 кВ. Отключения линий происходили из-за схлестывания и обрыва проводов, излома опор.

В результате аварии отключилось 518 ВЛ, повреждено 687 опор, произошло 968 обрывов проводов и 1263 обрывов вязок, недоотпуск электроэнергии составил 864 тыс. кВт·ч.

В Киевэнерго в период 7 – 12 марта при порывистом ветре (скорость 35 м/с) отключилось 905 ВЛ 6-20 кВ, повреждено 190 опор, произошло 312 обрывов проводов и 82 вязок, недоотпуск электроэнергии составил 815 тыс. кВт·ч.

В Латвглэнерго 30 декабря при порывистом ветре (скорость до 29 м/с) отключились 163 ВЛ 20 кВ, повредилось 2700 опор, недоотпуск электроэнергии составил около 750 тыс. кВт·ч.

При каждой аварии из-за сильного ветра в 1983 г. в среднем отключалось 177 ВЛ 6-20 кВ, теряла работоспособность 231 опора, происходило 177 обрывов проводов.

Аварии явились следствием загнивания деревянных опор сверх допустимых значений; опоры не были заменены при плановых ремонтах в ряде случаев из-за недостаточного снабжения лесоматериалами. Иногда аварии возникали или развивались вследствие недостаточной механической прочности подвешенных проводов марки А и ПС.

В 1983 г. произошло четыре аварии из-за гололеда. Аварии произошли в Сахалинэнерго, Волгоградэнерго, Запказэнерго и Дагэнерго.

В Сахалинэнерго, в котором имеются особогололедные районы, 17 ноября при прохождении глубокого циклона над центральной частью острова Сахалин, сопровождавшегося сильными осадками в виде мокрого снега и дождя, при дальнейшем росте гололедных отложений произошли массовые повреждения опор,

изоляторов и проводов. Потеряли работоспособность 400 опор, 4200 изоляторов, произошло 189 обрывов проводов, недоотпуск электроэнергии составил 2500 тыс.кВт·ч.

В период с 15 по 31 декабря в Запказэнерго наблюдалась циклоническая погода с очень сложным для такого периода года сочетанием климатических характеристик: резкие колебания температуры воздуха от -16°C до $+4^{\circ}\text{C}$ при высокой влажности: снегопад, переходивший в мокрый снег и дождь. При понижении температуры возникали интенсивные гололедно-изморозевые отложения. Резко возрастали скорости ветра. В сложившихся метеорологических условиях произошли массовые повреждения ВЛ. Повредилось 96 ВЛ, 269 изоляторов, произошло 469 обрывов проводов и 592 вязок. Недоотпуск электроэнергии составил 669 тыс. кВт·ч.

Количество аварий, классифицированных по причине других стихийных явлений, в 1983 г. составило 15. Наиболее крупные аварии произошли в Литовглавэнерго, Запказэнерго, Грузглавэнерго.

В Литовглавэнерго 25 – 27 мая из-за ливневого дождя, сильного ветра и интенсивной грозы отключилось 208 ВЛ, произошло 93 обрыва проводов.

В Грузглавэнерго 2 – 5 января причиной аварии послужило обильное выпадание мокрого снега. Произошло налипание мокрого снега на провода, что привело к повреждению и отключению 72 ВЛ 6-10 кВ, потеряли работоспособность 1781 опоры; недоотпуск электроэнергии составил 2205 тыс. кВт·ч.

В Запказэнерго 2 – 31 января произошла авария из-за гололеда и сильного ветра порывами до 27 м/с с одновременным выпадением мокрого снега. Температура воздуха колебалась от $+2$ до -20°C . Произошло налипание снега на провода; возникшая при этом вибрация и «пляска» проводов вызвали многочисленные обрывы проводов и вязок, склестывание проводов, изломы опор.

Отключилось 133 ВЛ 6-10 кВ, потеряли работоспособность 267 опор, произошло 588 обрывов проводов и 515 обрывов вязок; недоотпуск электроэнергии составил 764 тыс. кВт·ч.

В 1984 г. в распределительных электрических сетях 6-20 кВ зарегистрировано 89 аварий, 9660 отказов I степени, 56758 отказов II степени. 90% аварий произошло из-за стихийных явлений, в том числе, 69% - из-за сильного ветра и сочетания ветра с гололедом.

Наиболее тяжелые аварии:

В Одессаэнерго 9 февраля в результате сильного порывистого ветра (до 21 м/с), налипания мокрого снега и образования гололеда на проводах (20 – 25 мм) произошло отключение

672 ВЛ 6-10 кВ; повредилось значительное количество опор и проводов. Неблагоприятные атмосферные условия имели место до 14 февраля, что задержало ликвидацию последствий аварии до 17 февраля, вследствие этого недоотпуск электроэнергии потребителям составил около 1 млн. кВт·ч.

В Свердловэнерго 2 мая обильный снегопад сопровождался сильным ветром, порывами до 20 м/с. Мокрый снег, налипший на провода, опоры, деревья, вызвал обледенение проводов до толщины стенки 30 мм. Повреждено 4990 опор ВЛ 6-10 кВ. Причинами аварии явилось воздействие на линии электропередачи гололедно-ветровых нагрузок, превышающих расчетные для второго климатического района, а также массовые падения деревьев на провода ВЛ под воздействием снежно-гололедной массы и ветра.

9 июня в 14 энергосистемах Главцентранерго и 3 энергосистемах Главуралэнерго прошел смерч со скоростью 60 – 100 м/с. Обесточилось 1500 животноводческих ферм и комплексов, 1875 населенных пунктов (в Рязаньэнерго обесточилось 157 сельскохозяйственных потребителей I категории и 615 потребителей II категории), отключилось 2216 ВЛ 6-20 кВ, повредилось более 4 тыс. опор ВЛ 6-20 кВ.

Задержки в устранении повреждений были вызваны недостаточной обеспеченностью: аварийным резервом, который не был укомплектован опорами, проводом; машинами повышенной проходимости и механизмами, бензином, средствами оперативной связи с поисковыми бригадами.

Указанные недостатки эксплуатации имели место практически во всех энергосистемах, где произошли аварии.

В 1985 г. в распределительных сетях 6-20 кВ было зарегистрировано 99 аварий, 13272 отказов I степени, 67902 отказов II степени. 98% аварий произошло из-за стихийных явлений, в том числе, 83% - из-за сильного ветра и ветра с гололедом.

В результате гололедно-ветровых аварий в 1985 г. отключалось 7532 ВЛ 6-20 кВ, было повреждено 37693 опоры, 21762 изоляторов, 3414 креплений проводов, провода повреждены в 19726 местах. Количество отключенных сельскохозяйственных потребителей I категории равнялось 747, II категории - 4192. Максимальная длительность перерыва электроснабжения сельскохозяйственных потребителей I категории составила 96 ч., II категории - 175 ч., III категории - 240 ч. Недоотпуск электроэнергии составил 26819 тыс.кВт·ч.

Аварии с наиболее тяжелыми последствиями в 1985 г.:

В Белгородэнерго 9 января из-за сильного ветра со скоростью 20 м/с и гололеда с толщиной стенки до 22 мм произошла авария, в результате которой отключилось 170 ВЛ 6-10 кВ, повредилось 8020 опор ВЛ 6-10 кВ, недоотпуск электроэнергии составил 6842 тыс. кВт·ч.

В Курскэнерго 8 января из-за сильного ветра, скорость которого доходила до 24 м/с, и гололеда с толщиной стенки 20 мм отключилось 445 ВЛ 10 кВ и повредилось 108 силовых трансформаторов.

В Орелэнерго 25 января из-за сильного порывистого ветра со скоростью до 26 м/с и мокрого снега произошла авария, в результате которой повредилось 930 опор ВЛ 6-10 кВ, произошло 1900 обрывов, недоотпуск электроэнергии составил 638 тыс. кВт·ч.

При расследовании аварий было установлено следующее:

1. Несоответствие принятых РКУ по ветру и гололеду фактическим условиям эксплуатации.

2. Недостаточная механическая прочность эксплуатируемых промежуточных опор.

3. Наличие в эксплуатации на ВЛ 6 – 10 кВ дефектных опор, стальных изношенных проводов и алюминиевых проводов сечением до 35 мм².

4. Недостаточное обеспечение материалами, нехватка персонала, что не позволяло производить техническое обслуживание и ремонт распределительных электрических сетей в необходимом объеме.

5. Недостаточное количество вездеходного транспорта, механизмов, оснастки, приспособлений, инструмента и горючесмазочных материалов, что увеличивало время восстановления при отключениях ВЛ.

В 1986 г. в распределительных сетях 6-20 кВ сельскохозяйственного назначения зарегистрировано 89 аварий, 14747 отказов I степени, 74327 отказов II степени. Как и в предыдущие годы, наибольшее количество электросетевых аварий произошло из-за сильного ветра (63%) и из-за ветра и гололеда (20%). 48% аварий произошло в январе и декабре 1986 г.

В результате аварий отключилось 9437 ВЛ 6-20 кВ, количество отключенных сельскохозяйственных потребителей I категории составило 1320, II категории - 4001. Максимальная продолжительность перерыва электроснабжения сельскохозяйственных потребителей I категории равнялась 78 ч., II категории - 183 ч., III

категории - 184 ч. Недоотпуск электроэнергии составил 13276 тыс.кВт·ч.

При авариях было повреждено 9233 опоры, 5920 изоляторов, 10753 креплений проводов; провода были повреждены в 16120 местах, вышло из строя 128 силовых трансформаторов.

В среднем на одну аварию отключалось 106 ВЛ 6-20 кВ, количество отключенных сельскохозяйственных потребителей I категории составляло 15, II категории - 50; в среднем повреждалось 104 опоры, 67 изоляторов, 121 креплений проводов, количество повреждений проводов в среднем составляло 181. Недоотпуск электроэнергии в среднем на одну аварию составлял 149 тыс.кВт·ч.

Наиболее тяжелые аварии:

5 – 7 декабря воздействие гололедно-ветровых нагрузок, превышающих расчетные значения, вызвали массовые повреждения линий электропередачи, приведшие к авариям в энергосистемах Казахстана - Запказэнерго, Кустанайэнерго, Павлодарэнерго. Недоотпуск электроэнергии сельскохозяйственным потребителям достиг 507 тыс. кВт·ч.

В результате отложения на проводах гололеда с толщиной стенки 20 – 40 мм и действия ветра порывами до 35 – 40 м/с происходили падения опор, обрывы проводов, перекрытия между проводами.

Другой зоной, где имели место аварии из-за воздействия гололедно-ветровых нагрузок в декабре 1986 г., явились энергосистемы Украины и юга Европейской части страны: Харьковэнерго (23 декабря), Крымэнерго (18 декабря), Воронежэнерго (20 декабря), Донбассэнерго (19 декабря), Краснодарэнерго (30 декабря), Днепроэнерго (17 декабря); по две аварии произошли в Ростовэнерго (4 и 23 декабря), Волгоградэнерго (3 и 21 декабря), Ставропольэнерго (3 и 31 декабря).

Недоотпуск электроэнергии сельскохозяйственным потребителям во время этих аварий превысил 2,8 млн. кВт·ч, отключалось 2230 ВЛ 6-20 кВ.

Наибольший объем разрушений имел место в Днепроэнерго, где нарушалась работа 525 ВЛ 6-20 кВ. Большое количество отключений ВЛ и повреждений опор было вызвано тем, что значительное количество ВЛ 6-20 кВ было построено 20 и более лет назад, вследствие чего провода и деревянные опоры были значительно изношены.

Со 2 по 27 января 1986 г. вследствие неблагоприятных метеорологических условий на территории Белоруссии в Брестской, Витебской, Гродненской, Минской и Могилевской областях произошли аварии, в результате которых отключилось 973 ВЛ. Многочисленные

отключения линий электропередачи 10 кВ были вызваны усилением ветра до 23-30 м/с, налипанием мокрого снега на провода и деревья, из-за чего происходило провисание, склестывание проводов ВЛ, наклоны и поломки деревьев с падением их на провода линий электропередачи, в результате чего рвались провода и разрушались опоры. Толщина стенки гололеда достигала 117 мм.

В период 2 – 7 декабря при ветре порывами до 20-25 м/с, т.е. не превышающем расчетную скорость, нарушалось электроснабжение потребителей из-за аварий в электрических сетях в результате массовых отключений ВЛ 6-10 кВ в Новгородэнерго, Калининэнерго, Ленэнерго. Отключения ВЛ происходили в основном из-за обрывов и склестывания проводов, перекрытий между ними, вызванных падениями деревьев или их приближением к проводам при воздействии ветра и налипании мокрого снега. Всего во время этих аварий отключались 512 ВЛ 6-10 кВ.

19 февраля наблюдалось обледенение проводов ВЛ в районах электрических сетей Одессаэнерго из-за выпадения переохлажденного дождя и мокрого снега. Процесс нарастания льда на проводах проходил при сильном ветре порывами до 28 м/с. Одностороннее отложение гололеда (до 45 мм) в сочетании с сильным ветром привело к обрыву на ВЛ 6-10 кВ 4496 проводов и вязок. В результате возникших односторонних нагрузок повредилось 1175 опор.

В ряде энергосистем гололедно-ветровые аварии в сельских распределительных сетях происходят ежегодно в осенне-зимний период. К таким системам относятся Волгоградэнерго, Воронежэнерго, Ростовэнерго, Харьковэнерго, Литовглэнерго, Днепроэнерго, Донбассэнерго, Крымэнерго, Кустанайэнерго, Куйбышевэнерго, Саратовэнерго, Курскэнерго, Минскэнерго, Винницаэнерго, Львовэнерго.

Ежегодно происходят аварии из-за сильного ветра и гололеда и в Пензаэнерго. Толщина стенки гололеда до 25 – 30 мм, в отдельных случаях до 50 – 60 мм при скорости ветра до 30 м/с.

Почти каждый год происходят аварии из-за сильного ветра и гололеда в распределительных электрических сетях Омскэнерго. Неблагоприятные метеорологические условия, в результате которых повреждаются ВЛ 10-20 кВ, наблюдаются в Омскэнерго довольно часто. Например, со 2 на 3 октября 1982 г. при температуре наружного воздуха от +2° С до -3° С и ветре 14 – 15 м/с (с порывами до 25 м/с) наблюдались массовые гололедно-изморозевые отложения с толщиной слоя гололеда 30 – 40 мм и изморози до 80 мм.

2 – 3 декабря 1993 г. скорость ветра составляла до 30 м/с при влажности воздуха около 100% и температуре воздуха -7°C, гололедно-изморозевые отложения от 60 до 120 мм.

24 – 25 декабря 1984 г. прошел жесткий ураганный шторм, ветер до 35 м/с со снегом и пылью.

13 – 14 октября 1985 г. температура воздуха -5° - 10°C, ветер 10 – 12 м/с, порывы до 28 м/с, налипание снега, обледенение.

26 и 27 декабря 1986 г. сильные метели, снег, порывы ветра до 30 м/с.

20 – 22 ноября 1987 г. температура воздуха от +1°C до -1°C, ветер 5 - 18 м/с, порывы до 24 м/с, налипание снега, гололед, дождь.

24 – 25 апреля 1988 г. ветер 20 – 23 м/с, дождь, мокрый снег.

4 – 5 июня 1988 г. пыльная буря, дождь, гроза, сильный ветер до 40 м/с.

При авариях, имевших место на ВЛ 6-10 кВ в этих условиях, лучшую работу показали железобетонные опоры.

В ряде энергосистем гололедно-ветровые аварии происходят несколько раз в год. Так, например, в Башкирэнерго, в котором имеются особогололедные районы, аварии из-за сильного ветра наблюдаются 2-3 раза в год, из-за гололеда - 1-2 раза в год. Скорость ветра при этом достигает 30 – 35 м/с, толщина стенки гололеда 25 – 46 мм.

В среднем 2 раза в год происходят гололедно-ветровые аварии в Липецкэнерго, в Гродзенерго. Скорость ветра до 34 м/с, максимальная толщина стенки гололеда до 80 мм.

Несколько раз в год происходят гололедно-ветровые аварии и в Татэнерго. Так, 15.04.1989 г. произошла авария в Нижнекамских, Бугульминских, Елабужских, Альметьевских электрических сетях Татэнерго. Причиной аварии явились сильный ветер (до 25 м/с), интенсивное выпадение мокрого снега с налипанием его на провода и опоры линий и образованием гололеда на проводах (диаметром до 60-100 мм). В результате произошли массовые отключения ВЛ из-за обрыва проводов, грозозащитных тросов и падения опор. Отключилось 49 ВЛ 6-10 кВ и 4 ВЛ 35 кВ.

На линиях 6-10 кВ произошло падение 454 опор, 400 железобетонных приставок, повреждено 51,8 км провода. В результате аварии были отключены от электроснабжения потребители I категории (две птицефабрики) и потребители II категории (тепличное хозяйство, насосные водоснабжения и др.). Недоотпуск электроэнергии составил 50 тыс. кВт·ч.

24.10.1989 г. в этой же энергосистеме (в Буйских, Елабужских, Приволжских, Чистопольских электрических сетях Татэнерго) произошла авария из-за сильного ветра на ВЛ 6-10-35 кВ. При сильном ветре порывами до 32 м/с произошли массовые отключения ВЛ 6-10 и ВЛ 35 кВ из-за обрыва проводов, грозозащитных тросов и падения опор. Отключилось 161 ВЛ 6-10 кВ, 2 ВЛ 35 кВ.

На ВЛ 6-10 кВ произошло падение 559 опор, повреждено 1620 км провода. Вышло из строя 17 силовых трансформаторов. Имел место перерыв электроснабжения потребителей I категории. Недоотпуск электроэнергии составил более 50 тыс. кВт·ч.

В период с 15.12.1989 г. по 21.12.1989 г. в третий раз в один и тот же год произошла гололедно-ветровая авария в Татэнерго (в Нижнекамских, Бугульминских, Альметьевских, Чистопольских, Елабужских, Буйских электрических сетях). При неблагоприятных погодных условиях (снег с дождем, сильный ветер с порывами до 24 м/с, перепад температуры наружного воздуха от +5°C до -19°C в течение суток) происходило интенсивное образование гололеда толщиной стенки до 60 мм.

Гололедные и ветровые нагрузки и «пляска» проводов привели к массовым схлестываниям, обрывам проводов, грозозащитных тросов, падению опор. Произошло повреждение 324 ВЛ 6-10 кВ, 11 ВЛ 35 кВ.

Наибольшие повреждения произошли на ВЛ 6-10 кВ, построенных в 1960-1987 гг. по старым РКУ, с малым сечением проводов (А, АС, 25-55 мм²), с удлиненными пролетами 80-100 м. Данные линии имеют низкую механическую прочность, что привело к обрыву проводов, поломке опор, в том числе, и железобетонных, и приставок.

Интенсивное отложение гололеда на проводах и опорах произошло в Черемшанском, Лениногорском, Азнакаевском, Альметьевском, Сармановском, Нижнекамском, Нурлатском, Мензелинском, Актанышском районах (в нетрадиционных районах гололедообразования).

В результате аварийных повреждений были отключены потребители электроэнергии, в том числе, I категории сельскохозяйственные, железной дороги, полностью был отключен от электроснабжения на двое суток Актанышский район. Недоотпуск электроэнергии в результате аварии на ВЛ 6-10 кВ составил 32,9 тыс. кВт·ч.

Практически ежегодно происходят аварии из-за гололедно-ветровых воздействий на ВЛ 0,4 – 10 кВ в Челябинской энергосистеме.

Обычно стихийные явления проявляются весной или осенью и сопровождаются обильным выпадением мокрого снега с порывистым ветром более 15 м/с.

В это время происходит налипание мокрого снега или изморози на провода, что приводит к их обрывам и падению промежуточных опор.

К таким же последствиям приводят многочисленные перекрытия от падения веток и деревьев на провода. Часто это явление в момент выпадения снега усугубляется уже появившейся листвой на деревьях весной или листвой, еще не опавшей осенью.

В Тюменской области массовые отключения ВЛ 0,4 – 10 кВ по причине гололедно-ветровых воздействий за последние 10 лет составляли 15 – 20% от общего числа отказов ВЛ. Скорость ветра при авариях достигала 20 м/с, толщина стенки гололеда до 15 мм.

В Волгоградской области, в которой имеются особогололедные районы, на значительной ее территории практически ежегодно наблюдаются гололедно-изморозевые отложения на проводах и тросах ВЛ различной интенсивности и консистенции (от изморози и смеси до гололеда с плотностью 0,9 г/см³). Диаметр муфты этих отложений колеблется от 50 до 100 мм. Как правило, эти отложения даже при небольших ветровых нагрузках (ниже расчетных) приводят к аварийным отключениям линий электропередачи вследствие схлестывания проводов, повреждений различных элементов ВЛ (обрыв вязок, проводов и тросов, разрушение опор).

Анализ многолетних наблюдений показал, что повреждения происходят не только в зонах с IУ – особым РКУ по гололеду, но и во II – III РКУ с периодичностью в 5 – 12 лет. Диаметр муфты при этом достигает 40 - 70 мм. Обрыв проводов, разрушение и падение опор ВЛ имеет место и от чисто ветровых перегрузок (Левобережные электрические сети, 2000 г.).

Особенно большие гололедные отложения в Волгоградской области наблюдаются в зоне филиала Камышинские электрические сети на территории Ольховского, Руднянского, Котовского, Камышинского и части Даниловского районов.

В декабре 1993 г. и январе 1994 г. на ВЛ 10 – 110 кВ по Волгоградской области было разрушено около 1100 опор, выполненных как на базе деревянных, так и на базе железобетонных стоек. Диаметр муфты на отдельных линиях достигал 100 – 150 мм.

Массовые отключения в распределительных электрических сетях 6 – 10 кВ в Волгоградской области с обрывом проводов и падением опор имели место в ноябре – декабре 1998 г. и январе – феврале 1999 г. в

Михайловских, Камышинских, Левобережных и Правобережных электрических сетях, охватывающих 25 административных районов области. Всего было разрушено порядка 1000 опор.

Несколько раз в год происходят гололедно-ветровые аварии в Горэнерго (Нижний Новгород). Например, в 1989 г. в электрических сетях этой системы аварии из-за сильного ветра и гололеда наблюдались 26 августа и 24 октября.

26 августа 1989 г. около 17 часов к западным границам Горьковской области подошел циклон. По фронту циклона наблюдалась непрерывная грозовая деятельность. В результате сильного ветра скоростью, превышающей расчетную, и грозовой активности в зоне Кстовских, Муромских, Горьковских, Сергачских и Арзамасских электросетей начались массовые отключения ВЛ 10 – 220 кВ.

Из-за падения опор, схлестывания и обрыва проводов, из-за заноса воздушным вихрем постороннего предмета произошло перекрытие выводов и возгорание трансформаторов, отключилось 54 ВЛ 6-10 кВ, 17 ВЛ 35-110 кВ, 2 ВЛ 220 кВ.

Было повреждено 140 опор ВЛ 6-10 кВ, оборваны провода в 53 пролетах ВЛ 6-10 кВ. Железобетонные опоры и приставки имели излом на уровне земли, обрыв проводов наступал в середине пролета. Из-за падения опор и обрыва проводов на ВЛ 35-110-220 кВ вышло из строя 20 каналов в/ч связи и 3 канала телемеханики.

24 октября 1989 г. из-за сильного ветра в Кстовских, Семеновских, Уренских, Сергачских, Горьковских, Балахнинских электрических сетях Горэнерго (Нижновэнерго) произошла авария. При сильном ветре, порывы которого достигали 24 – 30 м/с, наблюдались схлестывания и обрывы проводов, повреждения опор, падение веток и деревьев на провода, занос на них посторонних предметов.

Всего отключились 1 ВЛ 220 кВ, 26 ВЛ 35-110 кВ, 173 ВЛ 6-10 кВ. Было повреждено 227 опор ВЛ 6-10 кВ, 5 опор ВЛ 35 кВ, оборваны провода в 73 пролетах ВЛ 6-10 кВ и в 3-х пролетах ВЛ 35-110 кВ. Были повреждены как деревянные, так и железобетонные опоры, железобетонные и деревянные приставки опор. Излом опор происходил на уровне земли, обрыв проводов - в середине пролета и в местах крепления.

В результате аварии в электрических сетях Горэнерго (Нижновэнерго) 24 октября 1989 г. недоотпуск электроэнергии составил 349,3 тыс. кВт·ч.

Гололедно-ветровые аварии в сетях Нижновэнерго наблюдались и в последующие годы. Так, в ноябре 1995 г. в Арзамасских электрических сетях произошла авария с обрывом проводов, повреждением элементов опор. Толщина стенки гололеда при этом составляла около 10 мм, скорость ветра до 20 м/с. В мае 1999 г. в сетях ОАО «Нижновэнерго» в результате

сильного ветра скоростью до 30 м/с и грозы наблюдались массовые повреждения ВЛ 0,4 – 10 кВ.

Серьезная гололедно-ветровая авария произошла в июне 1995 г. в Свердловской области. 6 и 7 июня в зоне обслуживания Нижнетагильских и Артемовских электрических сетей АО «Свердловэнерго» при сложных метеоусловиях, обильном снегопаде, налипании мокрого снега на провода и деревья толщиной до 42 мм, сильном ветре с порывами до 28 м/с, резком снижении температуры воздуха до 6°C произошли массовые отключения ВЛ 0,4 – 500 кВ и линий связи.

Наблюдались завалы деревьев на провода ВЛ, многочисленные обрывы проводов, сближение проводов, падение опор, траверс, перекрытия изоляции оборудования подстанций и ВЛ.

Отключились 107 ВЛ 35 – 500 кВ суммарной протяженностью 3689 км, 7500 км ВЛ 0,4 – 10 кВ.

Полностью оказались обесточенными 395 населенных пунктов области, ряд предприятий, остановилось движение электропоездов по четырем направлениям. Было повреждено 497 опор ВЛ 35 – 110 кВ, 7307 опор ВЛ 6 – 10 кВ, 950 гирлянд изоляторов ВЛ 35 кВ и выше, 455 пр.км ВЛ 35 кВ и выше, 6578 пр.км ВЛ 6 – 10 кВ и др.

На восстановление электрических сетей были мобилизованы 5 бригад механизированных колонн и свыше 900 специалистов и рабочих предприятий энергосистемы, задействовано свыше 270 единиц автотехники, 15 вездеходов, 20 тракторов и бульдозеров.

Других случаев массовых отключений ВЛ из-за гололедно-ветровых нагрузок в Свердловэнерго за последние 10 лет не происходило.

В Костромской области, в отдельных ее районах, практически ежегодно наблюдаются повреждения ВЛ, вызванные сверхрасчетной ветровой нагрузкой и налипанием мокрого снега на провода ВЛ и кроны деревьев. Повреждения элементов ВЛ при этом происходят, как правило, в результате падения или наклона деревьев, растущих на краях просек, под действием ветровой нагрузки и массы снега, налипшего на кроны. По мнению энергетиков Костромаэнерго, механическая прочность типовых деревянных и железобетонных опор, применяемых в настоящее время, вполне достаточна.

С падением деревьев на ВЛ из лесного массива за просекой при ветре и отложении снега на деревьях связаны в большинстве случаев падение опор и обрыв проводов в Псковской области. По данным Псковэнерго, в Псковской области гололедно-ветровые аварии происходят из-за гололеда 2 – 3 раза в год (при максимальном налипании снега и льда на провода толщиной 10 – 15 см). Из-за ветра аварии происходят 1 – 2 раза

в год, в основном, в летнее время, скорость ветра при этом достигает 25 – 28 м/с.

В ряде энергосистем гололедно-ветровые аварии с массовыми повреждениями ВЛ повторяются многократно, до 15 – 20 раз в год. Это касается энергосистем центральных областей России, Западной Сибири, Казахстана, Украины.

В некоторых районах гололедно-ветровые аварии наблюдаются значительно реже. Так, в Калининградэнерго аварий на ВЛ 6-20 кВ из-за превышения расчетных нагрузок в результате гололедно-ветровых нагрузок за последние 10 лет не было.

В Мордовэнерго гололедно-ветровые аварии на ВЛ 6-20 кВ происходят один раз в 3-4 года. Скорость ветра при этом достигает 30 - 32 м/с, толщина стенки гололеда около 15 мм.

В Иркутскэнерго гололедно-ветровые аварии происходят примерно один раз в 3 года.

В Барнаулэнерго аварии на ВЛ 6-20 кВ из-за сильного ветра и гололеда происходят один раз в 2 – 3 года. Скорость ветра при этом составляет 15 – 18 м/с, максимальная до 35 – 40 м/с с порывами до 48 м/с, толщина стенки гололеда до 90 мм.

В Латвглавэнерго гололедно-ветровые аварии отмечались примерно раз в 2 года. Скорость ветра достигала при этом 25 – 30 м/с с порывами до 40 м/с, наблюдалось налипание снега на провода и падение деревьев на провода ВЛ.

В Эстонглавэнерго аварии на ВЛ 10 кВ, связанные с превышением расчетных нагрузок, происходили не чаще одного раза в 1 – 2 года. Толщина стенки гололеда составляла 20 – 40 мм, при скорости ветра до 10 м/с.

В некоторых районах иногда в связи с длительным ненастяем наблюдаются довольно продолжительные гололедно-ветровые аварии на ВЛ. Например, в январе 1990 г. в Валдайских электрических сетях Новгородэнерго стихийные погодные явления, приведшие к авариям на ВЛ, продолжались две недели (с 6 по 19 января).

По данным метеостанций Валдая, Окуловки, Крестцы, Старой Руссы, с 6 по 11 января наблюдалось периодическое выпадение осадков в виде дождя и мокрого снега с налипанием снега на деревья и провода линий и с образованием гололеда. Толщина гололедных отложений на проводах электрических линий достигала 100 – 150 мм. 10 – 11 января по области наблюдалось усиление ветра до 15 – 16 м/с. В ночь с 11 на 12 января наблюдался резкий перепад температуры воздуха с нулевых значений до $-25 \div -27^{\circ}\text{C}$ на территории всей Новгородской области, что привело к обледенению проводов электросети. С 12 по 14 января в

области наблюдалась морозная погода без существенных осадков с температурой наружного воздуха $-25 \div -30^{\circ}\text{C}$. С 14 по 16 января шел снег умеренной интенсивности. С 16 по 19 января начался процесс резкого повышения температуры воздуха до $0 \div -5^{\circ}\text{C}$. 18 - 19 января температура воздуха была положительной. Шли осадки в виде дождя и мокрого снега, возобновился процесс налипания снега на провода и деревья.

В результате гололедно-изморозевых отложений наблюдались обрывы проводов (171 случай) и поломки железобетонных опор (34 случая). Кроме того, было отмечено 49 случаев падения деревьев на провода из-за их наклона от большой массы снега и гололеда на кроне и порывистого ветра скоростью до 16 м/с.

В результате указанного было отмечено 113 случаев отключения ВЛ 6 – 10 кВ с различной продолжительностью и повторяемостью. Кроме того, отключались 4 ВЛ 110 кВ и 6 ВЛ 35 кВ из-за неравномерного провисания проводов с последующим схлестыванием и перекрытием на поросль. Отключались 603 ТП, от электроснабжения были отключены два потребителя I категории. Из-за большого количества коротких замыканий в сети 0,4 – 10 кВ, наличия «земли» на стороне 6 – 10 кВ, не устранимой длительное время, получили различные повреждения около 390 трансформаторных пунктов, 4 подстанции 35 – 110 кВ.

Наряду с основной причиной нарушений нормального режима работы ВЛ – гололедно-изморозевыми отложениями и ветром, как показал анализ, способствующими аварии факторами явились недостатки эксплуатации: - ряд участков ВЛ имеет ширину просек трасс ниже нормативной; на ВЛ 10 кВ имеется большое количество изоляторов, требующих замены; имеются в эксплуатации провода марок ПС, А и АС, не соответствующие нормативам ПУЭ; на некоторых ВЛ 10 кВ стрела провеса проводов не соответствует требованиям ПУЭ; почти 50% Валдайских электрических сетей 10 кВ выполнены на опорах с применением стоек, не соответствующих III и IV районам по гололеду.

Вообще гололедно-ветровые аварии на линиях электропередачи 0,38 – 35 кВ в Новгородэнерго происходят раз в 3 – 4 года, в марте-апреле и ноябре месяцах, с обрывом проводов и падением опор.

Стенка гололедно-изморозевых отложений с налипанием мокрого снега достигает при этом 14 см, при скорости ветра 18 – 21 м/с поперек линии (длины промежуточных пролетов на ВЛ 10 кВ от 80 до 120 м).

По данным Новгородэнерго, при гололедно-ветровых перегрузках лучше себя показывают деревянные опоры. Так, к примеру, в 1992 г. от гололедно-ветровых нагрузок на ВЛ 0,38 – 10 кВ Новгородэнерго сломались 308 железобетонных опор и 16 деревянных. При аварии 1995 г. была сломана 391 железобетонная опора, деревянные же опоры устояли.

Вообще о надежности деревянных и железобетонных опор при гололедно-ветровых авариях сведения разных энергосистем противоречивы. Новгородэнерго, Самараэнерго, Челябэнерго, Тюменьэнерго, Белгородэнерго, Карелэнерго, Нижновэнерго, Вологдаэнерго, Свердловэнерго считают, что хорошо пропитанные деревянные опоры меньше повреждаются при гололедно-ветровых авариях, чем железобетонные. Мосэнерго, наоборот, придерживается противоположного мнения. О большей повреждаемости деревянных опор по сравнению с железобетонными свидетельствуют и официальные данные, приводимые в обзорах аварий АО «Фирма ОРГРЭС».

Ежегодно происходят гололедно-ветровые аварии в Самараэнерго. Электрические сети 0,4 – 35 кВ в этой энергосистеме часто испытывают воздействие ветровых нагрузок (скорость ветра достигает 20 – 25 м/с) и нагрузок от отложений мокрого снега, изморози в осенне – зимний период. Раз в два – три года наблюдаются отложения чистого гололеда.

В основном от таких нагрузок страдают ВЛ напряжением 6 – 10 кВ, где массовые отключения по этой причине наблюдаются со средней периодичностью 2 – 3 раза в год.

Примеры массовых отключений ВЛ 6 – 10 кВ в Самараэнерго:

16 – 17 декабря 1996 г. с простоем отключалось 27 фидеров при ветре до 20 м/с, мокром снеге, температуре воздуха от - 3°C до +3°C. На отдельных фидерах наблюдался односторонний гололед с толщиной стенки 5 – 7 см. Произошла поломка 9 опор, обрывы проводов, вязок, шлейфов, срывы и повреждения изоляторов, перекрытие изоляции ТП.

17 – 18 февраля 1997 г. во время аналогичных погодных условий отключались с простоем 29 фидеров. На отдельных фидерах наблюдался круговой гололед с толщиной стенки до 5 см. Произошли обрывы проводов, вязок, шлейфов, повреждения изоляторов.

3 – 4 марта 1997 г. при ветре до 25 м/с, мокром снеге отключались с простоем 30 фидеров 6 – 10 кВ. Наблюдались обрывы проводов, вязок, шлейфов, повреждения изоляторов, перекрытие изоляции ТП.

17 февраля 1998 г. при аналогичных гололедно-ветровых нагрузках отключалось 20 фидеров 6 – 10 кВ.

3 – 4 марта 1999 г. воздействие ветра и налипания мокрого снега привело к отключению с простоем 24 фидеров 6 – 10 кВ.

25 – 26 января 2000 г. в Самараэнерго произошла очередная гололедно-ветровая авария с отключением с простоем и аналогичными повреждениями 28 фидеров 6 – 10 кВ.

По данным Самараэнерго, массовые повреждения опор наблюдаются редко. Опоры со сроком службы до 20 лет деревянные и железобетонные достаточно устойчивы к гололедно-ветровым нагрузкам, но деревянные опоры с хорошей пропиткой имеют лучшие показатели. У опор

со сроком службы более 20 лет повреждаемость более вероятна, есть случаи единичных поломок опор.

Аварии на ВЛ, вызванные атмосферными явлениями, наблюдались в текущем, 2000 году в различных областях страны.

Так, например, с 10 по 14 мая 2000 г. сперва в Архангельской, а затем в Ярославской области отмечались сильный ветер скоростью до 24 м/с, снегопад, резкое похолодание. В результате произошли аварии на воздушных линиях электропередачи. В Ярославской области вышло из строя около 100 подстанций, 150 деревень остались без света. В Архангельской области отключилось 260 подстанций. Ущерб составил около 7 млн. руб.

19 июня 2000 г. в Татарии прошел ураган, сильная гроза с градом. Ветер достигал 15 – 20 м/с. В результате урагана наблюдались аварии на ВЛ, вышло из строя 250 электроподстанций.

21 июня 2000 г. сильный ураган наблюдался в Ставрополье. Порывы ветра при этом достигали 50 м/с. В результате отмечались аварии на ВЛ, около 50 км линий электропередачи вышло из строя.

26 июня 2000 г. в г. Самара сильный ветер вызвал повреждения линий электропередачи.

5 июля 2000 г. в Оренбургской области прошла буря, ветер, ливень, град. Наряду с другими разрушениями наблюдались многочисленные повреждения линий электропередачи.

5 июля 2000 г. во Львовской области и соседних районах дул сильный ветер, вызвавший обрывы проводов и падение опор на ВЛ. В результате 715 населенных пунктов отключилось от электроснабжения.

26 июля 2000 г. в результате ураганного ветра, приведшего даже к человеческим жертвам, в Ишимбаевском районе Республики Башкортостан повреждено полтора километра линий электропередачи. От стихии, сопровождавшейся сильным ветром, ливнем и градом, пострадали также Курская, Смоленская и Тверская области.

В июле же текущего года в результате циклона и обильных осадков на Сахалине пострадали четыре района области - Невельский, Томаринский, Холмский и Долинский. Стихия вывела на острове из строя 8 км линий связи и 17 км ЛЭП.

1 августа 2000 г. в Нижегородской области прошел ураган, в результате которого повреждены высоковольтные и низковольтные воздушные линии электропередачи. От электроснабжения было отключено 10 районов области.

1 августа 2000 г. наблюдался ураган в Татарстане. В результате аварий на ВЛ без света осталось 100 населенных пунктов.

2 августа 2000 г. в Рязанской области прошла буря, сильный ветер, ливень, град. Ураганный ветер с корнем выворачивал деревья,

срывал крыши домов. Наряду с другими разрушениями были повреждены 175 км линий электропередачи. Ущерб хозяйству области составил 500 млн.руб.

В летний период 2000 г. неоднократно наблюдался ураганный ветер в Воронежской области. Ветер со скоростью более 30 м/с срывал крыши домов, вырывал с корнем деревья, ломал опоры воздушных ЛЭП.

* * *

Таким образом, гололедно-ветровые аварии - частое явление на ВЛ 6 – 10 кВ со штыревыми изоляторами. При этом выделяют так называемые массовые отказы ВЛ - отказы при системных авариях, вызванные воздействием гололеда, ветра или их сочетания.

При массовых отказах только часть ВЛ разрушается (повреждается) из-за воздействия предельных (разрушающих) гололедно-ветровых нагрузок. Одновременно отключается большое количество ВЛ из-за разрушения отдельных ослабленных элементов линий при нагрузках ниже расчетных и даже нормативных. Например, из-за обрыва одного, двух проводов в местах подгораний при схлестываниях; или у изоляторов, в результате истирания провода в зоне крепления; повреждения отдельных проволок вибрацией; обрывов вязок и др.

Отказы ВЛ, происходящие из-за случайных отказов отдельных элементов линии, называют одиночными отказами ВЛ. В основном, одиночные отказы ВЛ происходят из-за отказов проводов и изоляторов.

Одиночные отказы ВЛ в результате повреждений проводов существенно влияют на количество массовых отказов ВЛ при авариях.

В табл. 1 приведена классификация причин одиночных отказов, количественные значения даны на 100 км ВЛ в год.

Приведены данные для ВЛ 10 кВ и ВЛ 35 кВ.

Данные по уровню надежности ВЛ 35 кВ характеризуют надежность линий этого класса напряжений и могут использоваться также для расчетов уровня надежности ВЛ 10 кВ с подвесной изоляцией.

В таблице 1 приводятся данные для ВЛ 10 кВ со штыревой изоляцией применительно к усредненным условиям: провод А50; пролет 60 – 70 м; III РКУ по ветру и гололеду; типовой проект железобетонных опор ВЛ 10 кВ серии 3.407-101. Для ВЛ 35 кВ: провод АС70/11; пролет 125 м; III РКУ по ветру и гололеду; типовой проект железобетонных опор ВЛ 35 кВ серии 3.407-107.

В следующей табл. 2 приведено распределение причин одиночных отказов ВЛ 10 кВ по маркам и сечениям проводов. Особо выделены отказы ВЛ при условии устранения схлестывания проводов.

Таблица 1

Классификация отказов ВЛ 10 кВ и 35 кВ на железобетонных опорах

Виды и причины отказов	Количество отказов в год на 100 км ВЛ	
	ВЛ 10 кВ	ВЛ 35 кВ
1	2	3
1. Массовые отказы	0,475	0,15
2. Одиночные отказы		
Провода	A50	AC70/11
Обрывы проводов, в том числе:		
Истирания о шейки изоляторов	1,6	
Ожоги и пережоги при схлестывании	0,4	
Вибрация	0,8	
Дефекты монтажа (перетяжка, повреждения)	0,2	
Ненадежные соединения	0,1	
Заводской брак	0,05	
Обрывы, повреждения проводов из-за пробоя и перекрытия изоляторов	0,05	
Обрывы вязок, повреждения зажимов	0,2	
Отключения ВЛ автоматикой	1,3	
Посторонние воздействия (наезды, набросы, пожары, пристрелы)	0,6	
Прочие	0,3	
Итого	4,5	0,25
Изоляторы	6,75	0,3
(в том числе: фарфоровые - 5, стеклянные - 10)		
Для ВЛ 10 кВ с изоляторами ШФ10-Г, ШС10-Г, ШФ20-В	3	
Стойки железобетонные		
СВ110-2,5 (СНВ-2,7-11)	0,2	
СВ164-11,9		0,005
Всего одиночных отказов	11,45	0,55
Всего, массовых и одиночных отказов	11,9	0,7

Распределение причин одиночных отказов ВЛ 10 кВ по маркам и сечениям проводов
(количество отказов на 1000 ВЛ длиной по 20 км)

Таблица 2

Виды и причины отказов	Марки и сечения проводов									
	A35	A50	A70	A95	A120	AC25	AC35	AC50	AC70	ПС
Истирание о шейки изоляторов	200	80	40	-	-	90	120	100	90	80
Ожоги и пережоги при схлестывании	230	160	120	100	90	40	10	10	10	50
Вибрация	80	40	-	-	-	10	10	10	10	10
Дефекты монтажа	50	20	-	-	-	10	10	10	10	10
Ненадежные соединения	10	10	10	10	10	20	20	20	20	10
Заводской брак	10	10	-	-	-	-	-	-	-	-
Обрывы проводов из-за прорыва и перекрытия изоляторов	60	40	30	20	20	50	40	30	20	20
Обрывы вязок	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Отключение ВЛ автоматикой	380	260	200	170	145	200	160	140	130	80
Посторонние воздействия	240	120	90	60	40	90	60	40	30	30
Прочие причины	120	60	45	30	20	45	30	20	15	15
Итого	1480	900	635	490	425	685	530	450	385	305
При условии устранения схлестываний	870	480	315	220	190	365	275	220	175	175

Как видно из табл. 1, удельное число массовых отказов (на 100 км ВЛ) на ВЛ 10 кВ в три раза больше, чем на ВЛ 35 кВ (0,475 и 0,15 отказов соответственно). Число одиночных отказов на ВЛ 10 кВ (11,45) в 20 раз выше, чем на ВЛ 35 кВ (0,55).

Это свидетельствует о меньшей надежности ВЛ 10 кВ по сравнению с ВЛ 35 кВ.

В заключение следует отметить, что за последние 15 лет, благодаря применению решений, принятых в типовом проекте 3.407.1-143, разработанном АООТ «РОСЭП», в ряде энергосистем, которые раньше отличались большим количеством аварий на ВЛ 10 кВ (Ставропольэнерго и др.), число аварий было снижено в несколько раз.

4. Обзор гололедно-ветровых аварий на ВЛ 10-35 кВ с подвесными изоляторами по отечественным данным

На воздушных линиях электропередачи напряжением 10 - 35 кВ с подвесными изоляторами воздействие сильного ветра и гололеда также, как и на ВЛ 6-10 кВ со штыревыми изоляторами, является наиболее частой причиной аварий.

Так, в 1981 г. из 3138 отказов, имевших место на ВЛ 35 кВ в целом по стране, из-за атмосферных воздействий, влияния климатических и внешних условий произошло 1322 отказа (42,1%). Из них 40,8% (540 отказов) произошло из-за сильного ветра; 7,9% (105 отказов) из-за гололеда; 10,7% (142 отказа) из-за совместного воздействия ветра и гололеда, превышающих расчетные значения. Из-за грозы произошло 415 отказов(31,4%), из-за промышленных и сельскохозяйственных загрязнений и увлажнений 60 отказов(4,5%), из-за наводнений 23 отказа(1,7%), из-за оползней, обвалов 7 отказов (0,5%).

На втором месте после атмосферных влияний по частоте отказов ВЛ находится такая причина, как посторонние воздействия (перекрытие и загрязнение птицами, наезды транспорта, набросы, бой изоляторов, низовые пожары, падение и приближение деревьев). Из-за посторонних воздействий отмечалось 803 отказа ВЛ 35 кВ (25,6% от общего числа отказов).

Из-за недостатков эксплуатации и ремонта отмечалось 4,6% от общего числа отказов ВЛ 35 кВ; из-за изменения свойств материалов в процессе эксплуатации (загнивания древесины, коррозии металла, старения изоляции) 4,3% отказов; из-за дефектов изготовления и конструкции 2,3% отказов; из-за дефектов монтажа 1,8% от общего числа отказов; из-за недостатков проектирования 1,0% отказов. Из-за ненормальных режимов в электрической сети отмечалось 1,2% от общего числа отказов ВЛ 35 кВ. В 16,9% случаев причина отказа ВЛ не была установлена.

Наиболее повреждаемыми элементами ВЛ 35 кВ при авариях являются провода – 1047 отказов (33,4%), изоляторы – 761 отказ (24,2%), деревянные опоры - 606 отказов (19,3%). Из-за повреждения железобетонных опор в 1981 г. произошло 2,8 % отказов ВЛ 35 кВ, металлических опор - 0,4% отказов. Повреждения линейной арматуры при авариях явились причиной 1,6% отказов, повреждения тросов – 0,6% отказов.

1981 год характеризовался неблагоприятными атмосферными воздействиями на линии электропередачи, охватившими большие территории. Так, в период с 31 октября по 17 ноября на территории 20 областей Украины, Белоруссии и РСФСР произошли массовые

повреждения линий электропередачи 35 – 750 кВ. При этом отключилось 39 ВЛ 220 – 750 кВ и 546 ВЛ 35 – 110 кВ. Было повреждено 46 опор ВЛ 220 – 750 кВ, 389 опор ВЛ 110 кВ и 1210 опор ВЛ 35 кВ.

Наиболее тяжелая гололедно-ветровая авария произошла 3 – 4 ноября в Липецкэнерго. При температуре воздуха от -3°C до +1°C и обильном снегопаде на проводах и тросах ВЛ имело место интенсивное гололедообразование и налипание мокрого снега с образованием муфт толщиной от 100 до 200 мм. Сильный порывистый ветер со скоростью 24 – 28 м/с и наличие гололеда обусловили возникновение нагрузок, в 3,5 раза превышающих нормативные. В результате произошли массовые отключения линий электропередачи всех классов напряжений.

Нарушилось энергоснабжение 15 районов Липецкой области из 18, остались без электроэнергии 1261 населенный пункт, 132 колхоза и 141 совхоз, большое количество промышленных предприятий г.г. Липецка, Грязи, Лебедяни и др.

Расследование выявило, что большой объем разрушений при гололедно-ветровых авариях усугублялся недостатками строительства, проектирования и эксплуатации.

Из-за недостатков эксплуатации и ремонтов в 1981 г. произошло 144 отказа ВЛ 35 кВ. В ряде энергосистем отсутствует надлежащий надзор за состоянием трасс ВЛ, что ведет к многочисленным отключениям из-за перекрытий на деревья и кустарники или из-за падений деревьев на провода. Приемка ВЛ в эксплуатацию проводится во многих случаях формально. Со стороны эксплуатирующих организаций отсутствует постоянный технический контроль за качеством строительства, за выполнением ВЛ в соответствии с проектом, в первую очередь, за выполнением скрытых работ (качеством заделки в грунт на проектную глубину стоек опор, установки ригелей), качеством устанавливаемых опор, приставок, монтажа проводов, в части соблюдения проектного тяжения, соединений проводов и т.д.

По вине монтажных и строительных организаций произошло 56 отказов ВЛ 35 кВ. Наиболее характерными дефектами монтажа и строительства, выявленными при отказах, являются:

- некачественные заделка опор в грунтах и закрепление на фундаментах (недостаточное заглубление, неустановка ригелей, неполнная раскерновка анкерных болтов, отсутствие обваловки и другие отступления от проекта);
- некачественная термосварка и опрессовка проводов в соединительных зажимах.

В 1981 г. произошло 12 отказов ВЛ 35 кВ из-за повреждения металлических опор. Крупные ветровые аварии с повреждением металлических опор произошли в ноябре в Молдглавэнерго, в марте в Туркменглавэнерго, в декабре в Донбассэнерго, Воронежэнерго и других энергосистемах.

8 – 10 февраля в Клайпедских электрических сетях Литовглавэнерго произошла авария с повреждением металлических опор на ВЛ 35 кВ. Во время наводнения под действием сильного ветра, скорость которого достигала 20 м/с, началось движение льда, в результате чего на ВЛ 35 кв «Шилуте-Русне» упали шесть и были повреждены три металлические опоры (промежуточные опоры типа ПБЗА, анкерные – У60 БАЗ, специальные Уб, П-26). Недоотпуск электроэнергии в результате отключения ВЛ составил 97,8 тыс.кВт·ч.

Из-за повреждения железобетонных опор в 1981 г. произошло 90 отказов ВЛ 35 кВ.

Как и в предыдущие годы, больше всего таких отказов было по причине атмосферных воздействий – 54 (60% всех отказов ВЛ 35 кВ с повреждением железобетонных опор). Из них 51,8% (28 отказов) произошло из-за сильного ветра, 1,8% (1 отказ) из-за гололеда, 35,1% (19 отказов) из-за совместного воздействия ветра и гололеда, превышающих расчетные значения.

Многочисленные повреждения железобетонных опор от воздействия сверхрасчетных ветровых нагрузок имели место во время аварии 3 – 10 ноября в Винницаэнерго. На территории Винницкой, Хмельницкой, Тернопольской и Черновицкой областей наблюдался сильный ветер с усилением 3 и 11 ноября до штормового с порывами до 30 – 35 м/с, 10 и 11 ноября ветер сопровождался выпадением обильных осадков в виде мокрого снега при температуре 0 – 3°C. Повреждения железобетонных опор произошли как на ВЛ 110 - 500 кВ, так и на ВЛ 35 кВ. При этом на четырех ВЛ 35 кВ разрушилось 12 опор.

Тяжелая ветровая авария имела место также в Винницаэнерго 28 июля. По территории Тернопольской области узким фронтом прошел ливневый дождь, сопровождавшийся грозой, с волновыми возмущениями теплого и холодного воздуха, перераставшими в шквальный ветер, скорость которого превышала 32 м/с. Наряду с другими разрушениями, на одной ВЛ 35 кВ упали четыре железобетонные опоры.

2 – 3 ноября произошла авария в электрических сетях Львовэнерго в результате прохождения глубокого циклона, сопровождавшегося ветрами со скоростью 25 – 30 м/с, с порывами 39 м/с, вследствие чего происходили массовые отключения линий электропередачи и подстанций. На девяти ВЛ 35 кВ упали 18 железобетонных опор.

Наиболее крупные аварии с повреждением железобетонных опор от воздействия сверхрасчетных ветровых нагрузок имели место также в марте и мае в Туркменглавэнерго, в мае и июле - в Целинэнерго, в июне - в Латвглавэнерго.

Самой тяжелой гололедно-ветровой аварией в 1981 г. явилась особая системная авария, произошедшая в Липецкэнерго 3 – 4 ноября. На территории Липецкой области со второй половины дня 3 ноября и 4 ноября температура воздуха была в пределах $-3^{\circ}\text{C} \div +1^{\circ}\text{C}$, шел мокрый снег, сопровождавшийся северо-восточным порывистым ветром со скоростью 24 – 28 м/с, что вызвало интенсивное гололедообразование и налипание мокрого снега на элементах линий электропередачи. При осмотре линий были обнаружены на проводах отложения снега в виде плотной массы овальной формы в районе г.Липецка толщиной стенки 100 – 120 мм, в районе с.Хворостянка (Грязинского района) толщиной стенки 120 – 160 мм. Повредилось большое число опор, в их числе железобетонных: 11 опор на одной ВЛ 220 кВ, 161 опора на девяти ВЛ 110 кВ и 56 опор на семи ВЛ 35 кВ.

С 21 по 26 ноября из-за гололеда (с толщиной стенки до 50 мм и весом погонного метра 8860 г), порывистого ветра, достигавшего в отдельных районах 30 – 34 м/с, на трех ВЛ 35 кВ и одной ВЛ 110 кВ в Литовглавэнерго было повреждено 12 железобетонных опор.

Тяжелые гололедные и гололедно-ветровые аварии с повреждением железобетонных опор имели место также в ноябре в Тамбовэнерго, в январе 1981 г. в Ростовэнерго и в декабре того же года в Саратовэнерго.

Из-за повреждений деревянных опор в 1981 г. имело место 606 отказов ВЛ 35 кВ. При этом по причине атмосферных воздействий, влияния климатических и внешних условий наблюдалось 71,1% отказов (431 отказ). Из них 62,2% (268 отказов) произошло из-за сильного ветра, 1,8% (8 отказов) из-за гололеда, 6,2% (27 отказов) из-за совместного воздействия гололеда и ветра, превышающих расчетные значения.

Электросетевые аварии с большим числом повреждений деревянных опор от воздействия ветровых нагрузок произошли во Львовэнерго 31 октября – 11 ноября 1981 г., в Винницаэнерго 3 – 11 ноября, Одессаэнерго 9 – 17 ноября, Молдглавэнерго 2 – 11 ноября, Днепроэнерго 3 – 16 ноября и 13 – 14 декабря, Киевэнерго 1 – 10 ноября, Донбассэнерго 14 декабря.

Наиболее крупной аварией с повреждением деревянных опор явилась системная авария в Одессаэнерго. 9 – 10 и 16 ноября по территории Одесской, Николаевской и Херсонской областей прошел циклон, сопровождавшийся северо-восточным ветром со скоростью 22 – 25 м/с, порывами до 40 м/с и мокрым снегопадом. В

электрических сетях происходило массовое отключение линий электропередачи и повреждение оборудования подстанций. На 57 ВЛ 35 кВ упали 392 деревянные опоры.

В период с 4 по 11 ноября на территории Винницкой, Хмельницкой, Тернопольской и Черновицкой областей наблюдался сильный ветер; 3 и 11 ноября скорость ветра при порывах достигала 30 – 35 м/с, 10 и 11 ноября ветер сопровождался выпадением обильных осадков в виде мокрого снега при температуре воздуха 0°C – 3°C. Всего со 2 по 11 ноября было разрушено 27 опор на двух ВЛ 110 кВ и 138 опор на 32 ВЛ 35 кВ.

Большое число деревянных опор было разрушено во время аварии в конце октября – начале ноября в Львовэнерго. От воздействия штормового ветра со скоростью 25 – 30 м/с, порывами до 39 м/с, на трех ВЛ 110 кВ было повалено 53 опоры и на 24 ВЛ 35 кВ - 75 опор.

11 мая 1981 г. в Западных и Восточных электрических сетях Сахалинэнерго, в которых имеются особогололедные районы, наблюдалось интенсивное гололедообразование на проводах (диаметр отложений 70 – 100 мм), в результате чего на ВЛ 35 кВ «Леонидово-Тихменево» упали две анкерные и три промежуточные опоры. Восстановительные работы продолжались 67 ч.

Аварии из-за сильного гололеда произошли также в декабре 1981 г. в Ростовэнерго и в ноябре того же года в Рязаньэнерго.

Во время системной аварии в Липецкэнерго 3 – 4 ноября от совместного воздействия порывистого ветра со скоростью 24 – 28 м/с и гололеда на пяти ВЛ 35 кВ упала 161 деревянная опора ПА-2 и ПА-1.

В ночь с 3 на 4 ноября на территории Белгородской области при температуре воздуха -3°C : 0°C, ветре со скоростью 25 м/с и снегопаде, вызвавших налипание мокрого снега на проводах, тросах и опорах (толщина стенки гололеда 20 мм), пляске проводов на трех ВЛ 35 кВ были разрушены 23 деревянные опоры.

Аварии с повреждением деревянных опор из-за воздействия гололеда и ветра, превышающих расчетные значения, произошли в 1981 г. также в Одессаэнерго, Харьковэнерго, Мордовэнерго, Читаэнерго, Сахалинэнерго и других энергосистемах.

В течение августа – начала сентября над Сахалином проходили четыре тайфуна, сопровождавшиеся ураганным ветром и обильными осадками, что вызвало на обширной территории размытия рек, селевые потоки, оползни с разрушением дорог, мостов, затопления населенных пунктов. В электрических сетях Сахалинэнерго имело место массовое затопление трансформаторных подстанций, распределительных пунктов, смыг опор электропередачи, обрывы проводов, повреждения кабельных линий. На трех ВЛ 35 кВ было смыто пять деревянных опор.

Из-за нарушений работоспособности проводов в 1981 г. было зарегистрировано 1047 отказов ВЛ 35 кВ. В том числе, 441 отказ (42,1%) произошел из-за атмосферных воздействий, влияния климатических и внешних условий. Из них 182 отказа (41,2%) произошло из-за сильного ветра, 86 отказов (19,5%) из-за гололеда, 70 отказов (15,8%) из-за совместного воздействия гололеда и ветра, превышающих расчетные значения.

Расследование причин аварий показало, что увеличению числа отказов ВЛ при гололедно-ветровых воздействиях способствовали недостатки строительства, проектирования, эксплуатации и ремонтов. Проявлением недостатков эксплуатации и ремонтов проводов явились отключения ВЛ из-за перекрытий на деревья, падений деревьев на провода, перекрытий между проводами, между проводами и опорами. Недостатки эксплуатации заключаются в некачественном проведении обходов и осмотров трасс ВЛ, в несвоевременном устраниении выявленных дефектов ВЛ, а также в отсутствии надлежащего контроля за качеством монтажа проводов. Одним из часто встречающихся дефектов монтажа является нарушение целостности провода во время раскатки и неправильный ремонт его в ходе монтажа.

В периоды неблагоприятных атмосферных воздействий, в том числе, при гололедно-ветровых воздействиях выявляются и заводские дефекты изготовления проводов. Основные дефекты: отсутствие стального сердечника на некотором участке провода и некачественная сварка стального сердечника в проводах АС. В Крымэнерго в феврале 1981 г. отключилась ВЛ 35 кВ «Зуя – Межгорье» из-за обрыва провода АС-70. Причина обрыва - отсутствие стального сердечника в месте обрыва на участке длиной 15 м.

В результате неблагоприятных погодных условий на ВЛ 35 – 500 кВ имели место массовые перекрытия между проводами, проводами и тросами, проводами и опорами, а также обрывы проводов. На ВЛ 35 кВ из-за атмосферных воздействий наблюдалось 252 случая обрыва проводов.

14 – 15 декабря на территории Воронежской области наблюдался сильный порывистый ветер до 34 м/с (расчетная скорость до 29 м/с). В результате возникших сверхрасчетных нагрузок происходило массовое отключение линий электропередачи напряжением 35 – 500 кВ. Только из-за обрывов проводов отключились три ВЛ 110 кВ и семь ВЛ 35 кВ. Было обесточено 264 колхоза и совхоза. Недоотпуск электроэнергии составил 1234,8 тыс.кВт·ч.

Из-за повреждений линейной арматуры в 1981 г. было 50 отказов ВЛ 35 кВ, в том числе, по причине атмосферных воздействий

12 отказов (24%). По сравнению с 1980 г. увеличилось число отказов ВЛ из-за повреждения линейной арматуры во время гололедно-ветровых аварий. При этом происходили обрывы вязок, выдергивание проводов из соединительных зажимов, разрушение узлов крепления гирлянд к траверсам и проводов к гирляндам изоляторов. Следует отметить, что часто сопутствующим обстоятельством являлся некачественный монтаж линейной арматуры.

Из-за нарушений работоспособности грозозащитных тросов в 1981 г. произошло 20 отказов ВЛ 35 кВ, в том числе, по причине гололедно-ветровых воздействий 12 отказов (60%).

Таким образом, как и в предыдущие годы, в 1981 г. наиболее повреждаемыми элементами ВЛ 35 кВ были провода (33,4% общего количества отказов ВЛ 35 кВ), изоляторы - 24,2% и деревянные опоры - 19,3%.

Основными причинами отказов ВЛ 35 кВ послужили:

- атмосферные воздействия, влияние внешних и климатических условий - 42,1%. Среди последних гололедно-ветровые воздействия занимают главное место (787 отказов из 1322 или 59,5%).
- посторонние воздействия - 25,6%;
- недостатки эксплуатации и ремонта - 4,6%;
- изменение свойств материалов в процессе эксплуатации- 4,3%.

Атмосферные воздействия, влияние климатических и внешних условий явились основной причиной отказов ВЛ 35 кВ и в 1982 году. Так, из 2598 отказов, имевших место в стране в 1982 г. на ВЛ 35 кВ, 948 отказов (36,5%) произошли из-за атмосферных воздействий. Из последних 177 отказов (18,6%) произошли из-за сильного ветра, 109 отказов (11,5%) - из-за гололеда, 84 отказа (8,9%) - из-за совместного воздействия гололеда и ветра, превышающих расчетные значения.

Наиболее повреждаемыми элементами ВЛ 35 кВ в 1982 г., так же как и в 1981 г., были провода - 850 отказов (32,7% от общего числа отказов), изоляторы - 710 отказов (27,3%), деревянные опоры - 353 (13,6%). Меньше повреждались железобетонные опоры (60 отказов или 2,3%), металлические опоры (14 отказов или 0,5%), линейная арматура (63 отказа или 2,4%), тросы (13 отказов или 0,5%).

В 1983 г. произошло 2802 отказа ВЛ 35 кВ. Так же, как и в предыдущие годы, основной причиной отказов были атмосферные воздействия, влияние климатических и внешних условий (1068 отказов или 38,1% от общего числа отказов). В том числе, из-за ветровых нагрузок, превышающих расчетные значения, произошло 439 отказов

(41,1% от всех отказов по причине атмосферных воздействий), из-за гололеда - 177 отказов (16,6%), из-за совместного действия гололеда и сильного ветра - 74 отказа (6,9%).

Наиболее повреждаемыми элементами ВЛ 35 кВ в 1983 г. были провода (1006 отказов или 35,9% от всех отказов). Второе место по повреждаемости занимали изоляторы (684 отказа или 24,4%). В большом числе случаев при авариях повреждались деревянные опоры (448 отказов или 15,9%), меньше повреждались железобетонные опоры (63 отказа или 2,2%), металлические опоры (11 отказов или 0,4%), линейная арматура (70 отказов или 2,5%), тросы (23 отказа или 0,8%).

В 1984 г. наблюдалось 2887 отказов ВЛ 35 кВ. Основной причиной отказов, так же как и в предыдущие годы, являлись атмосферные воздействия, влияние климатических и внешних условий (1074 отказа или 37,2%). Среди них наиболее частой причиной отказов являлся сильный ветер (196 отказов или 18,2%). Из-за гололеда произошло 72 отказа ВЛ 35 кВ (6,7%), из-за совместного воздействия ветра и гололеда - 146 отказов (13,6%).

Наиболее повреждаемыми элементами ВЛ 35 кВ в 1984 г. являлись провода - 982 отказа (34,0% от общего числа отказов), затем изоляторы - 748 отказов (25,9%), опоры - 557 отказов (19,2%). Из-за повреждений линейной арматуры произошло 56 отказов (1,9%), из-за тросов - 19 отказов (0,6%). Среди опор самыми повреждаемыми были деревянные (433 отказа или 77,7% от всех отказов из-за повреждения опор), меньше повреждались железобетонные опоры - 105 отказов (18,8%), еще меньше металлические опоры - 19 отказов (3,4%).

Расчет удельного числа отказов ВЛ 35 кВ (на 100 км ВЛ по трассе) в зависимости от материала опор показал, что самым повреждаемым материалом является дерево (1,63 отказов), затем металл (0,87 отказов), меньше всего повреждается железобетон (0,69 отказов).

Суммарное время неработоспособного состояния ВЛ 35 – 750 кВ при авариях и отказах в 1984 г. составило около 100 тыс.ч. Среднее время восстановления одной ВЛ 35 кВ составило 16,2 ч. При этом время восстановления работоспособности ВЛ зависело от отказавшего элемента. Так, среднее время восстановления ВЛ из-за отказа опоры составляло 35,9 ч., из-за отказа изолятора - 14,7 ч., из-за отказа провода - 14,5 ч., из-за троса - 12,2 ч., из-за отказа арматуры - 16,2 ч., из-за отказа фундамента - 15,5 ч.

В 1985 г. произошло 2879 отказов ВЛ 35 кВ. Из них по причине атмосферных воздействий, влияния климатических и внешних

условий произошло 1052 отказа (36,5%). В том числе, 428 отказов наблюдалось из-за гололедно-ветровых нагрузок, превышающих расчетные значения (40,6% от числа отказов из-за атмосферных влияний).

Больше всего отказов ВЛ 35 кВ произошло из-за повреждения проводов (1065 отказов или 36,9%), затем изоляторов (727 отказов или 25,2%), из-за повреждений опор (466 отказов или 16,2%). Из-за повреждений линейной арматуры произошло 70 отказов (2,4%), из-за тросов - 28 отказов (0,9%).

Среди опор больше всего повреждались деревянные опоры (324 отказа или 69,5% от числа всех отказов из-за повреждений опор), меньше повреждались железобетонные опоры (127 отказов или 27,2%), металлические (15 отказов или 3,2%). Удельное число отказов ВЛ 35 кВ в зависимости от материала опор составило: дерево - 1,37, металлы - 0,81, железобетон - 0,78.

Среднее время восстановления работоспособности ВЛ 35 кВ в 1985 г. так же, как и в предыдущие годы, зависело от отказавшего элемента. Так, при отказе опоры среднее время восстановления ВЛ 35 кВ составляло 33,0 ч., при отказе изолятора - 16,2 ч., при отказе провода - 16,7 ч., при отказе троса - 11,2 ч., при отказе арматуры - 20,8 ч.

В 1986 г. произошло 3246 отказов ВЛ 35 кВ. Атмосферные воздействия, влияния климатических и внешних факторов являются основной причиной отказов ВЛ - 1246 отказов (38,4%).

Среди последних наибольший удельный вес занимают гололедно-ветровые аварии (555 отказов или 44,5%). Атмосферные перенапряжения (грозы) приводили к 530 отказам ВЛ (42,5% от числа отказов по причине атмосферных воздействий); промышленные и сельскохозяйственные загрязнения и увлажнения вызывали 87 отказов ВЛ (6,9%); из-за наводнений, ледохода произошло 27 отказов (2,1%); землетрясения, оползни, обвалы были причиной 29 отказов ВЛ 35 кВ.

Второй по частоте встречаемости причиной отказов ВЛ 35 кВ являются посторонние воздействия (1021 отказ или 31,4% от всех отказов ВЛ). В их числе находится такая распространенная причина как падение и приближение деревьев (414 отказов или 40,5% от посторонних воздействий). Набросы, бой изоляторов также вызывают значительное число отказов ВЛ (327 отказов или 32,0% от всех посторонних воздействий). Кроме того, существенный вред ВЛ наносят наезды транспорта (138 отказов или 13,5% от всех посторонних воздействий). Перекрытие и загрязнение птицами и животными также вызывают большое число отказов ВЛ (81 отказ или 7,9% от всех посторонних воздействий). Еще одной причиной аварий

на ВЛ являются низовые пожары (45 отказов или 4,4% от всех посторонних воздействий).

Следующей по частоте встречаемости является такая причина отказов ВЛ как изменение свойств материалов в процессе эксплуатации (332 отказа или 10,2% от всех отказов ВЛ).

Дефекты изготовления и конструкции явились причиной 3,2% от всех отказов ВЛ 35 кВ (106 отказов).

Из-за недостатков эксплуатации и ремонта случилось 2,8% от всех отказов ВЛ 35 кВ (91 отказ).

Из-за нерасчетных режимов в сети (пляска, вибрация проводов, перегрузка и др.) произошло 2,0% отказов (67 отказов).

Дефекты монтажа явились причиной 1,2% отказов (42 отказа).

Одной из причин отказов ВЛ являются недостатки проектирования (0,3% или 9 отказов).

Аналогичный характер распределения отказов ВЛ 35 кВ по причинам возникновения сохранялся и в последующие годы.

Существенно не изменилась в последующие годы и картина повреждаемости элементов ВЛ 35 кВ при авариях. При этом наиболее повреждаемыми элементами за последние 20 лет являлись провода (39,5% отказов), изоляторы (25,0% отказов), деревянные опоры (12,2% отказов).

Таким образом, на ВЛ 35 кВ гололедно-ветровые воздействия являются наиболее распространенной причиной аварий, так же как и на ВЛ 6–10 кВ.

Однако на ВЛ 35 кВ разрушения при гололедно-ветровых авариях менее значительны по сравнению с ВЛ 6–10 кВ.

Так, при аварии, произошедшей в результате сильного ветра с порывами до 32 м/с в Татэнерго 24 октября 1989 г., на ВЛ 6-10 кВ упало 559 опор и было повреждено 1620 км проводов, в то время как на ВЛ 35 кВ отмечались лишь обрывы проводов в нескольких пролетах.

18 – 20 декабря 1993 г. в Орелэнерго наблюдался снегопад, гололед, сильный ветер со скоростью 13 – 22 м/с, пляска проводов. В результате отключилось 5 ВЛ 35 – 220 кВ и 85 ВЛ 10 кВ.

27 – 28 февраля 1995 г. в той же энергосистеме в результате гололедно-ветровой аварии отключались 12 ВЛ 35 – 110 кВ и 264 ВЛ 10 кВ.

4 – 5 мая 1997 г. в Вологдаэнерго под воздействием ветра скорость 20 м/с и налипания снега на провода (толщиной 15 см) и опоры (толщиной 40 см) произошло 5 отключений ВЛ 35 кВ с обрывом 10 проводов и падением 2-х железобетонных опор.

На ВЛ 10 кВ разрушения были более значительны: 72 отключения с падением 707 железобетонных опор.

1 мая 2000 г. в той же энергосистеме при ветре 27 м/с наблюдалось 10 отключений ВЛ 35 кВ с обрывом 2-х проводов и 109 отключений ВЛ 10 кВ (с обрывом 33 проводов и падением двух деревянных опор).

12 – 14 мая 2000 г. в Вологдаэнерго сильный ветер скоростью 25 м/с вызвал 17 отключений ВЛ 35 кВ с обрывом 2-х проводов и 181 отключение ВЛ 10 кВ (с обрывом 49 проводов и падением трех деревянных опор).

Меньшие разрушения ВЛ 35 кВ по сравнению с ВЛ 10 кВ при гололедно-ветровых авариях наблюдались и в предыдущие годы. Так, при авариях, имевших место в октябре – ноябре 1981 г. во многих энергосистемах страны, число отказов на ВЛ 35 кВ было существенно меньше, чем на ВЛ 10 кВ (табл.3).

Таблица 3
Отказы ВЛ 10 кВ и ВЛ 35 кВ при авариях
в разные числа октября – ноября 1981 г.

№ п.п.	Наименование РЭУ	Число отказов	
		ВЛ 10 кВ	ВЛ 35 кВ
1.	Липецкэнерго	409	41
2.	Молдглавэнерго	1500	45
3.	Винницаэнерго	715	49
4.	Львовэнерго	802	69
5.	Одессаэнерго	1518	95
6.	Киевэнерго	387	22
7.	Курскэнерго	235	3
8.	Харьковэнерго	187	2
9.	Белгородэнерго	135	17
10.	Тамбовэнерго	177	22
11.	Рязаньэнерго	171	6
12.	Белглавэнерго	313	8

Меньшие повреждения на ВЛ 35 кВ по сравнению с ВЛ 10 кВ наблюдались с закономерностью при всех гололедно-ветровых авариях практически во все годы и во всех энергосистемах страны.

В целом по стране ежегодное количество массовых отказов составляет 565 ВЛ на линиях напряжением 35 кВ и 9000 ВЛ на линиях напряжением 10 кВ. На одну поврежденную ВЛ 35 кВ повреждается до 16 ВЛ 10 кВ.

Это объясняется тем, что протяженность ВЛ 10 кВ приблизительно в 6 раз больше, чем ВЛ 35 кВ, а также меньшей механической прочностью ВЛ 10 кВ.

О меньшей прочности ВЛ 10 кВ по сравнению с ВЛ 35 кВ свидетельствует то, что удельное количество массовых отказов на ВЛ 10 кВ в 3 раза больше, чем на ВЛ 35 кВ, а количество одиночных отказов на ВЛ 10 кВ примерно в 20 раз превышает их количество на ВЛ 35 кВ.

Несмотря на большую надежность ВЛ 35 кВ по сравнению с ВЛ 10 кВ, гололедно-ветровые аварии на ВЛ 35 кВ также приводят к значительным нарушениям в электроснабжении и наносят большой ущерб экономике страны.

В связи с этим, в ряде энергосистем проводятся дополнительные мероприятия по повышению надежности ВЛ 35 кВ, в том числе, предупреждение и плавка гололеда, увеличение сечения проводов, выбор трасс, применение более прочных опор и др.

5. Обзор гололедно-ветровых аварий на воздушных линиях среднего напряжения по зарубежным данным

Аварии из-за сильного ветра и гололеда на линиях электропередачи происходят во многих странах мира, в связи с чем ведется интенсивная работа по повышению надежности ВЛ. Ниже приводится опыт ряда стран по борьбе с гололедно-ветровыми авариями.

Германия

В 1979 и 1980 г.г. в сетях 10 – 20 кВ энергетических компаний Германии (компании ОБАГ – Южная Бавария и Шлезваг – Шлезвиг-Гольштания) произошли крупные аварии из-за налипания мокрого снега и гололеда. Эти компании совместно с другими заинтересованными предприятиями выполнили тщательный анализ аварий и на специально построенном полигоне провели экспериментальные исследования, направленные на совершенствование методов расчета линий и разработки мер по повышению их надежности.

Компания Шлезваг обеспечивает электроснабжение земли Шлезвиг-Гольштания (за исключением некоторых крупных городов). Распределительные сети выполнены линиями 10 кВ и 20 кВ с учетом значительной протяженности сетей и небольшой плотности нагрузки. Сети расположены вблизи морского побережья и подвержены частым воздействиям ненастной погоды. Ураганные ветры осенью и зимой, гололед, снегопады – все это вызывает аварии в сетях среднего напряжения.

Сильные снегопады 1979 г. и 1980 г. вызвали особенно серьезные аварии, осложненные тем, что снежные заносы на дорогах задержали ремонтные работы на несколько дней. Основной вид повреждений – обрыв проводов и разрушение опор.

Компания Шлезваг применяет железобетонные опоры в сетях среднего напряжения, начиная с 30-х годов. Железобетонные опоры позволили увеличить пролеты, а значит, сократить число опор, что особенно важно в случае прохождения ВЛ по сельскохозяйственным угодиям.

В целях удешевления конструкций были разработаны опоры из легкого бетона с уменьшенным диаметром верхушки (110 мм), рассчитанные на тяжение от 1,5 до 2,0 кН. Для того, чтобы снизить крутящую нагрузку на верхушку опоры при несимметричном тяжении, возникающем при обрыве провода, для крепления крайних проводов обычно применяются выпускающие зажимы.

Такие облегченные опоры широко применялись в Германии до середины пятидесятых годов. Введение новых нормативов в этой стране привело к изменению расчетных нагрузок на опоры и запрещению применения провода АС 35. Минимальное допустимое сечение провода составляет теперь $50/8 \text{ мм}^2$. После 1965 г. в Германии введен новый стандарт на железобетонные опоры, а в 1969 г. введены новые нормы на расчет ВЛ.

Причиной повреждения железобетонных опор в сетях Шлезваг явились чрезмерные нагрузки от налипания мокрого снега и гололеда. Гололедная нагрузка достигала 18 Н/м, что в три раза превышает расчетную нагрузку от гололеда, составляющую 6 Н/м по германским нормам 1969 года. Ураганный ветер, воздействуя на перегруженные провода, вызывал их вибрацию и сильное раскачивание, а удар проводов друг о друга приводил к частичному и неравномерному сбросу гололеда, в результате чего начиналась пляска проводов, приводившая к их повреждению и обрыву.

Помимо механической перегрузки проводов, возникали также короткие замыкания, приводящие к пережогу проводов или повреждению линейной арматуры.

Динамические нагрузки, передаваемые с проводов на опоры, вызывали крутящие усилия, превышающие прочность опор.

В сетях среднего напряжения компании Шлезваг при этой гололедно-ветровой аварии произошло 76 обрывов проводов и разрушилось 28 опор. Пострадали преимущественно опоры на линиях, проходящих перпендикулярно преобладающему направлению ветра. Причем 70% обрывов проводов и 80% разрушений опор произошло на линиях с проводами АС 35 и облегченными конструкциями опор.

В сетях компании ОБАГ в Южной Баварии, где толщина намерзшего на проводах мокрого снега достигала 22 см, произошло разрушение 1395 опор и 1730 обрывов проводов.

Типичное повреждение опоры – излом стойки под траверсой. Такой вид излома случается, как правило, при крутящей нагрузке, когда имеется неравномерная статическая гололедная нагрузка, а также динамическая нагрузка при сбросе гололеда. Сильных ветровых нагрузок при этом зарегистрировано не было. Отмечается большая вероятность того, что часть обрывов проводов произошла после излома опор, так что описанное повреждение стоек лишь в редких случаях наступало из-за обрыва провода.

Основной причиной излома опор был сброс массивных гололедных отложений. Сброс происходил как отдельными участками, так и одновременно с трех проводов пролета. Причем в статическом состоянии провода и опоры несли исключительно большие гололедные нагрузки.

Сначала из-за статических нагрузок в отдельных местах возникали некоторые повреждения опор, которые вызывали

частичный или полный сброс гололеда, который, в свою очередь, создавал резкие динамические перегрузки на опоры.

Сброс гололеда в одном пролете – процесс, протекающий относительно быстро. Можно считать, что гололед сбрасывается одновременно по всему пролету. В соседнем пролете гололед сбрасывается с некоторым опозданием, определяемым характером колебаний провода.

При авариях, произошедших в сетях энергетической компании Шлезваг в 1978 – 1979 гг., обрывались преимущественно провода АС 35. Обследования, проведенные на существующих линиях, показали, что из-за приморского климата наблюдается усиленная коррозия проводов, уменьшающая их прочность.

На ВЛ, эксплуатируемых 20 – 30 лет, было взято 65 образцов провода для испытания на прочность. Оказалось, что 27% образцов имели прочность на 14 – 50% меньше минимальной требуемой прочности. А у 42% образцов потеряли необходимую минимальную прочность отдельные проволоки. Прямая связь между потерей прочности и сроком службы провода установлена не была. Основную роль играет степень смазки и оцинковки.

Были изучены также места крепления проводов. Оказалось, что в натяжных зажимах провод, как правило, не имеет повреждений, а в местах крепления к изоляторам промежуточных опор отмечались обрывы отдельных проволок. Причиной таких повреждений являются вибрация и пляска проводов, а также сильное отклонение провода под действием ветра.

Исходной точкой повреждения является обычно место, где провод входит в крепление. Здесь поверхность провода наибольшим образом подвержена коррозии.

Испытания отдельных проволок на предельную изгибающую нагрузку показали, что наибольшее влияние на снижение прочности провода при динамических нагрузках оказывают коррозийные раковины в металле. Если равномерная коррозия поверхности провода снижает такую прочность примерно на 20%, то наличие раковин – на 50%.

В целом выявилось, что применявшаяся в прошлом в Германии провод АС 35, имея достаточную пропускную способность, не обладает необходимой механической прочностью для восприятия экстремальных нагрузок.

Тщательный анализ причин аварий на ВЛ позволил специалистам энергетических компаний Германии наметить ряд мер по повышению надежности линий. В число таких мер вошли:

- увеличить расчетные скорости ветра; анализ замеренных скоростей ветра показал, что расчетная ветровая нагрузка должна быть увеличена;
- повысить расчетную гололедную нагрузку;

- предотвратить возможность возникновения пляски проводов путем сокращения длины пролета, установки межфазных распорок;
 - подвешивать провода с учетом их ползучести, из-за которой стрела провеса с течением времени становится недопустимо большой;
- выбирать конструкции опор и линейной арматуры, способствующие снижению динамических перегрузок;
- повысить прочность железобетонных опор на кручение;
- ограничить длину анкерных участков;
- усилить ВЛ, трасса которых перпендикулярна преобладающему направлению ветра.

Активную работу по повышению надежности электрических линий проводит и энергетическая компания Германии Некар. Компания Некар имеет 67 сетей 10 кВ и 18 сетей 20 кВ. Сети 10 кВ снабжают районы с высокой плотностью населения и значительным числом промышленных объектов. Сети 20 кВ обслуживают районы с преобладанием сельского населения и более редкими отпайками.

Учет аварийности в сетях среднего напряжения компании Некар ведется с 1967 г. Статистика показывает, что пики аварийности приходятся на годы с сильными снегопадами, высокой грозовой активностью, паводками. Интересно, что сети этой энергетической компании 20 кВ имеют относительно большую аварийность, чем сети 10 кВ. Это обстоятельство объясняется тем, что в сетях 20 кВ компании Некар меньше доля кабельных линий и больше удельный вес воздушных линий, которые больше подвержены атмосферным воздействиям.

В таблице 4 приведены показатели аварийности в сетях компании Некар с различной долей кабельных и воздушных линий. Использованы данные за 10 лет эксплуатации сетей.

Таблица 4

Аварийность в сетях среднего напряжения Германии
с различной долей кабельных и воздушных линий

Показатели	Сети с большой долей кабельных линий	Сети с большой долей воздушных линий
Число отказов на 100 км линий в год	8,7	12,2
Среднее число подстанций, отключаемых при одной аварии	17,2	29,6
Среднее время отключения подстанции в год, мин.	11,6	26,1
Средняя вероятность отключения одной подстанции в течение года	0,42	0,88

Как видно из таблицы, кабельные линии намного надежнее воздушных линий электропередачи. В сетях с большей долей кабельных линий меньше число нарушений на 100 км линий, меньше вероятность отключения подстанций в течение года. Нарушения в кабельных линиях имеют меньшую тяжесть, чем на воздушных линиях: меньше число подстанций, отключаемых при одной аварии, меньше время отсутствия электроэнергии на одной подстанции в год.

В связи с высокой надежностью кабельных линий в будущем энергетические компании Германии планируют ВЛ низкого напряжения полностью заменить кабелем.

Франция

Сельские распределительные сети во Франции находятся в основном в ведении Энергетического Управления Франции и частично в ведении кооперативов по сельской электрификации.

Объем строительства в сетях среднего напряжения составляет порядка 10 тыс. км в год, и около 2 тыс. км ВЛ реконструируются. Из каждых 500 тысяч опор ВЛ, устанавливаемых ежегодно Энергетическим Управлением Франции, примерно 120 тысяч - деревянные.

В сетях среднего напряжения стандартным является напряжение 20 кВ.

В электрических сетях Франции неоднократно происходили крупные аварии из-за налипания на провода мокрого снега и отложения гололеда. В связи с этим были проведены специальные исследования, в том числе, и в рамках международного сотрудничества, по изучению опасных климатических явлений и разработке мер по предотвращению аварийности на линиях электропередачи.

В частности, были рассмотрены меры по предотвращению обледенения проводов и прилипания к ним мокрого снега.

В качестве одного из таких способов было предложено механическое встряхивание проводов с помощью различных устройств, смонтированных на изоляторе. Однако этот способ оказался неэффективным. Снежные или ледяные оболочки настолько сильно сцеплены с проводом, что усилие при встряхивании оказывается недостаточным для их удаления.

Для проводов ВЛ совершенно неэффективны способы механического удаления льда, успешно применяющиеся для очистки поверхности самолетов.

Оказалось также, что покрытие проводов специальной смазкой со слабым поверхностным напряжением не защищает их от отложения на них гололеда или снега.

Изучение механизма налипания мокрого снега показало, что снег начинает наливаться со стороны дующего ветра. Под действием асимметричной нагрузки провод поворачивается к ветру чистой стороной, на нее также налипает снег, провод снова поворачивается и в конце концов оказывается покрытым снежной оболочкой со всех сторон.

Для предотвращения поворачивания провода были предложены следующие способы: 1) применять более жесткие, не поддающиеся кручению провода; 2) подвешивать к проводам грузы; 3) связывать провода межфазными распорками.

Эффективность применения грузов проверялась на одной из ЛЭП, проходящей в зоне повышенной вероятности снегопадов. В результате совместных с Японией исследований было предложено в дополнение к грузам надевать на провода специальные защитные кольца или муфты, которые при налипании мокрого снега должны способствовать разламыванию снежной оболочки. Однако оказалось, что в большинстве климатических районов Франции кольца не дают ожидаемого эффекта.

Уменьшение количества прилипаемого снега путем увеличения сопротивления провода кручению является несколько более успешной мерой.

Единственный пока наиболее действенный способ устранения налипшего снега и гололеда - это их плавка путем пропускания по проводам больших токов. Для избежания пляски проводов,

возникающей при внезапном освобождении провода от снежной или гололедной оболочки и часто приводящей к межфазным замыканиям, хорошие результаты дает применение межфазных распорок. Этот вывод сделан на основе эксплуатации линий с полимерными распорками.

Для повышения надежности работы линий электропередачи в условиях экстремальных климатических нагрузок было решено запретить применение неизолированных проводов малых сечений. В настоящее время при строительстве новых линий низкого напряжения во Франции повсеместно применяется воздушный кабель, который является наиболее надежным видом провода.

Что касается неизолированных проводов, то предпочтение отдается проводам из алюминиевых сплавов со стальной жилой или без нее. Сталеалюминиевые провода не применяются, так как они быстро истираются в зажимах, а хрупкость поверхностного слоя приводит к повреждению провода при раскатке.

Уточнены нормативные документы, относящиеся к расчетам ВЛ. Для ВЛ среднего напряжения предусмотрены две группы расчетных нормативных нагрузок: основная и дополнительная (проверочная). Принимаются следующие запасы прочности до разрушения:

- для деревянных опор и элементов, работающих на растяжение, $K = 3$;
- для железобетонных опор и элементов, работающих на изгиб, $K = 2,1$;
- для металлических опор принимается коэффициент запаса прочности до предела упругости, равный 1,8.

Этим коэффициентам соответствует вероятность разрушения сооружения примерно раз в тридцать лет.

По нормативным нагрузкам дополнительной группы ведутся проверочные расчеты в случаях, если требуется обеспечить надежное электроснабжение. Здесь, помимо ветровых, учитываются и гололедные нагрузки, а также случаи несимметричной нагрузки на опору со стороны соседних пролетов.

Запас прочности должен быть таким, чтобы напряжения не превышали предел упругости материала или:

- нагрузка должна быть не более 2/3 разрушающей нагрузки для элементов, работающих на растяжение;
- нагрузка не должна превышать более, чем в 1,6 раза номинальную для деревянных и железобетонных опор и в 1,8 раза - для металлических опор.

При расчете ВЛ проектировщику рекомендуется учитывать следующие правила:

- ответственные линии электропередачи (с сечением более 75 мм^2 сплава алюминия) должны иметь более высокую надежность, чем второстепенные с небольшим сечением проводов. Первичные и вторичные линии следует разделить секционирующим аппаратом, который должен срабатывать сразу же после повреждения вторичной линии;
- при расчете угловых опор надо учитывать ветер неблагоприятного направления. Обычно это биссектриса внешнего угла или направление, перпендикулярное более длинному пролету;
- через каждые 10 – 12 пролетов предусмотреть анкерную опору, чтобы избежать каскадного падения опор;
- увеличить тяжение провода, чтобы добиться лучшего перераспределения между опорами местной гололедной нагрузки.

Способы борьбы с обледенением проводов (в первую очередь, плавка гололеда, применение межфазных распорок и др.), рекомендации по использованию определенных видов проводов, а также по методам расчета ВЛ, применяемые во Франции, позволяют значительно уменьшить ущерб, наносимый гололедно-ветровыми авариями в этой стране.

Великобритания

В Великобритании гололедно-ветровые аварии наблюдаются довольно часто. Для борьбы с неблагоприятными атмосферными воздействиями на воздушные линии электропередачи в стране разработан целый комплекс мер. В частности, еще в 1946 г. был издан Британский стандарт «Высоковольтные воздушные линии на деревянных опорах», предназначенный для напряжений до 11 кВ включительно. В этом стандарте было предусмотрено, что тяжение провода при температуре $-5,5^\circ\text{C}$ и поперечном ветре силой $760 \text{ Н}/\text{м}^2$ «не должно превышать разрушающей нагрузки, деленной на 2,5».

В стандарте предусматривалось также, что опора вместе с оттяжками, если таковые имеются, должна выдержать продольные, поперечные и вертикальные нагрузки, возникающие при температуре и ветре, указанным выше, не учитывая давления ветра на саму опору, с коэффициентом запаса прочности 2,5 для опор из красной ели, и с коэффициентом 3,5 для опор из лиственницы или местной ели.

Стандарт распространял свое действие для всей страны, однако в нем было указание о необходимости учета местных

климатических условий, высоты над уровнем моря. Для особенно тяжелых условий в стандарте рекомендовалось усиливать опоры и уменьшать длину пролетов.

В 1974 г. вышеупомянутый стандарт был издан в метрической системе единиц, без внесения существенных поправок. Однако для районов с тяжелыми климатическими условиями предусматривалось, что коэффициент запаса при расчете опор должен приниматься равным 3,5, а не 2,5; рекомендовалось уменьшать пролет на 20% и из двух соседних размеров провода выбирать больший.

При особо сильном ветре или снегопаде возникают непредвиденно большие нагрузки, которые приводят к обрыву проводов, поломке опор и т.п. Чтобы исключить одновременный выход из строя и опор и проводов, надо заранее или опоры или провода сделать более слабыми. Естественно, что в качестве «слабого элемента» выбирают провода, поскольку их легче ремонтировать. Но трудность заключается в том, что провода находятся под напряжением и обрыв их в этом состоянии может привести к серьезным последствиям. Поэтому должны предусматриваться меры для своевременного отключения линии.

Чтобы обрыв проводов произошел до поломки опор, в стандарте должны быть предусмотрены соответствующие коэффициенты запаса прочности.

Большинство ВЛ в Великобритании выполнены со сталеалюминиевыми проводами. Как показывают наблюдения, окончательному обрыву провода при гололедно-ветровой аварии предшествует обрыв алюминиевых проволок в разных местах пролета. Это значит, что оборванный провод нельзя просто соединить в месте обрыва, а надо заменять целую секцию. Это требует проверки больших участков провода, доставки на место аварии новых материалов и т.д. Кроме того, при низких температурах и сильном ветре новый провод не может быть подведен с расчетной стрелой провеса, следовательно, для выполнения этих работ требуется дополнительный выезд на место аварии.

Чтобы обеспечить обрыв провода до поломки опор при гололедно-ветровой аварии, специалисты Великобритании рекомендуют на участках ВЛ, где высока возможность аварии, вместо сталеалюминиевых проводов подвешивать менее прочные провода. В местах перехода от одного вида провода к другому разницу тяжений рекомендуется уравновешивать оттяжками на опорах.

Обрыв провода может быть вызван не только механическими нагрузками, но и пережогом при схлестывании. Для избежания схлестывания проводов специалисты рекомендуют применять траверсы с расстоянием между проводами не менее 1,0 м.

При низких температурах и сильном ветре, имеющих место при гололедно-ветровых авариях, заменять поврежденные опоры очень сложно, даже при использовании вертолетов. Поэтому стараются при продолжающемся ненастье устанавливать какие-либо временные, легко перевозимые опоры. Эти опоры должны иметь достаточный коэффициент запаса прочности, чтобы выдерживать возможные перегрузки.

Для предупреждения возможных разрушений вследствие гололедно-ветровой аварии, на существующих ВЛ применяют различные способы укрепления деревянных опор. Например, место заделки опоры в грунт (где наиболее часто ломается опора) укрепляют путем забивки в грунт вокруг опоры на глубину порядка 1 м нескольких стальных уголков длиной 3 м, привязываемых затем к опоре. Еще одно опасное место - верхушка опоры, которая расщепляется вдоль волокон. Это место укрепляют стяжными болтами, расположенными в плоскости, перпендикулярной крепежному болту траверсы.

Недостаточно прочное закрепление опоры в грунте также может привести к ее падению под воздействием гололедно-ветровой нагрузки. Поэтому в районах с тяжелыми климатическими условиями и там, где недостаточна несущая способность грунта, рекомендуется на глубине 0,5 м предусматривать горизонтальный ригель, ориентированный параллельно проводам.

В тяжелых по нагрузкам районах ответственные опоры могут быть укреплены, по усмотрению проектировщика, любым необходимым числом оттяжек или подкосов.

Рекомендуется также внимательно относиться к монтажу на опоре столбовых изоляторов, разъединителей и пр. Место для их подвески рекомендуют выбирать так, чтобы при ветре и снегопаде они оказывали наименьшее влияние на общую нагрузку на опору.

Вышеперечисленные меры, по мнению специалистов Великобритании, должны способствовать снижению повреждений ВЛ при гололедно-ветровых авариях.

Швеция

В электрических сетях Швеции применяются напряжения 400, 220, 130, 70, 50 – 30 и 20 – 10 кВ. Большая часть отключений при авариях связана с отказами на линиях 50 – 20 кВ. В табл.5 приведены данные по длительности отключений для разных уровней напряжений.

Таблица 5

**Длительность отключений в сетях разных напряжений
В Швеции**

Напряжение кВ	Число отключений на одного потребителя в год	Длительность отключений на одного потребителя в год, мин	Средняя длительность одного отключения, мин
130 - 70	0,5	10	20
50 - 40	1,8	71	40
30 - 20	1,8	108	60

Как видно из таблицы, чем меньше напряжение в электрической сети, тем чаще отключения и тем больше длительность отключения. То есть в сетях более низкого напряжения отказы наблюдаются чаще, и более тяжелые последствия аварии. Это согласуется с отечественными данными о большей тяжести аварий в сетях низкого напряжения (ВЛ 6 – 20 кВ) по сравнению с сетями среднего напряжения (ВЛ 35 кВ).

Анализ аварийности в электрических сетях Швеции показал, что преобладающей причиной отключений электроснабжения являются отказы в распределительных сетях. Так, отказы линий электропередачи составляют 69% от общего числа отказов сетей. Следовательно, именно в распределительных сетях особенно требуется принятие мер по повышению надежности электроснабжения.

Основной причиной отказов снабжения электроэнергией в Швеции являются грозы (51% от всех отказов). Другие атмосферные явления являются причиной 6% отказов сетей. 15% занимают отказы в аппаратуре ОРУ, из-за ошибок обслуживающего персонала происходит 6% отказов, из-за преднамеренных повреждений - 2% отказов.

При разработке мероприятий по снижению аварийности в сетях в Швеции учитывают технико-экономические показатели. Определено, что доля расходов на передачу электроэнергии относительно невелика,

но требования к надежности ЛЭП очень жестки, поскольку выход из строя ЛЭП влечет за собой отключение большого числа потребителей. Поэтому при выборе схемы сети, расчете ЛЭП и выборе оборудования обязательно учитывается ущерб от нарушения электроснабжения при аварии.

В некоторых энергетических компаниях Швеции технико-экономические расчеты ведутся по методу «минимальных затрат в течение срока службы», в соответствии с которым учитывают капиталовложения, эксплуатационные расходы и ущерб от аварийных отключений электроснабжения. При этом часто оказывается, что выгоднее установить более дорогое, но более надежное оборудование.

Норвегия

В Норвегии также ведутся научно-исследовательские работы в области снижения аварийности электросетей с учетом затрат на повышение надежности и стоимости ущерба от нарушения электроснабжения.

Установлено, что на непрерывность электроснабжения влияют такие факторы, как качество сети, ее конфигурация и протяженность, характер системы управления сетью, возможности поиска повреждений и секционирования, растительный и животный мир.

Опыт эксплуатации сетей Норвегии показывает, что аварии в сетях среднего напряжения (6 – 20 кВ) являются причиной большинства перерывов электроснабжения потребителей. Городские распределительные сети, выполненные, как правило, из кабеля, обладают намного большей надежностью, чем сельские, которые выполняются воздушными линиями из неизолированного провода.

Новая Зеландия

В Новой Зеландии при принятии мер по усилению электрических сетей стремятся сбалансировать дополнительные капитальные издержки, эксплуатационные расходы и надежность электроснабжения с учетом повторяемости снегопадов, ураганных ветров и гололеда.

Для этой страны характерны снегопады зимой и возможность сильных ветров в любое время года, причем скорость ветра может достигать 50 м/с.

В 1983 г. в Новой Зеландии сильный мокрый снегопад принес большие разрушения сетям, расположенным в горах. В 1985 г. прошел сильный ураган, но к тому времени была практически завершена десятилетняя программа усиления сетей, и последствия урагана были не столь катастрофическими. Тем не менее, после урагана без электроэнергии остались 13 тысяч потребителей, разбросанных на

территории площадью более 10 тыс. кв. км. Для 11 тысяч потребителей электроснабжение было восстановлено в течение 12 ч.

Было принято решение увеличить капиталовложения в усиление сетей высокого и среднего напряжения, а низковольтные сети по возможности перевести в подземный кабель.

В Новой Зеландии действуют технические условия, по которым расчет проводов и опор ведется на скорость ветра до 35 м/с. Скорость ветра принята достаточно высокой, чтобы распределительные сети могли выдержать почти самые сильные ветры. Однако следующие факторы могут привести к разрушительным нагрузкам:

- ветер свыше 35 м/с;
- гололед при сильном ветре;
- гололедная и сугробовая нагрузка на провода;
- внешние факторы, не связанные с расчетными условиями.

Что касается первого фактора (скорости ветра свыше 35 м/с), то коэффициенты запаса прочности материалов проводов и опор позволяют им выдержать скорость ветра до 50 м/с.

Гололед при сильном ветре для Новой Зеландии не характерен и бывает только на высотах свыше 600 м над уровнем моря. На этих высотах в Новой Зеландии распределительных сетей очень мало, а там, где они есть и существует опасность сильных гололедов, энергетики рекомендуют заменять ВЛ 11 кВ подземным кабелем.

Зимой в Новой Зеландии при низких температурах выпадает сухой снег, не прилипающий к проводам. Весной и осенью, когда температура воздуха колеблется ниже и выше 0°C, возможно прилипание мокрого снега, образование гололеда, а иногда послойное отложение мокрого снега и гололеда. При этом возникают недопустимо высокие нагрузки на провода и опоры.

Специалисты Новой Зеландии считают, что экономически невозможно и просто нет необходимости рассчитывать линии электропередачи на такие нагрузки. Исключение может быть сделано лишь для очень небольших участков, где частая повторяемость опасных явлений совершенно очевидна.

Что касается внешних факторов (сюда относятся падение деревьев на провода или других посторонних предметов и тому подобные обстоятельства), то они при проектировании не могут быть учтены.

При проектировании сельских распределительных сетей, для которых характерна низкая плотность нагрузки и подверженность сложным погодным условиям, имеются две задачи, решение которых тесно связано с размером капиталовложений в сети:

- снижение линейных потерь электроэнергии;
- повышение механической прочности конструкций и проводов ВЛ для обеспечения надежности электроснабжения в экстремальных условиях.

Программа усиления электрических сетей, разработанная в Новой Зеландии и рассчитанная на 10 лет, предусматривала снижение потерь с 14,8% до 5,5%. Программа практически завершена, и достигнутые результаты (потери в пределах 5 – 6%) - лучшее, что можно получить для сети протяженностью более 4 тыс. км с четырьмя потребителями на один км.

Реконструкция сети, проведенная в Новой Зеландии, включала в себя:

- более широкое применение вместо 11 кВ фидеров 33 кВ, как более надежных;
- протяженность городских фидеров 11 кВ не должна превышать 2 км (в сетях 24 городка с населением от 150 до 800 человек);
- применение подземного кабеля для низковольтных сетей;
- усиление механической прочности основной питающей линии в сети 11 кВ, расположенной в предгорном районе, подверженном частым гололедам.

Для линий 33 кВ принято:

- максимальный пролет 70 – 80 м;
- минимальное сечение провода АС 35 мм²;
- опоры изготавливаются из твердой австралийской древесины или из центрифугированного железобетона;
- примерно каждый километр предусматриваются анкерные опоры из твердой древесины, с растяжками с двух сторон;
- коэффициент запаса прочности для железобетонных опор 3,4; для твердой древесины 13,1.

Для наиболее ответственных участков сетей 11 кВ применяются линии повышенной прочности. Эти линии такие же, как описано выше, но на более коротких опорах.

Выполнение отдельных участков сетей линиями повышенной прочности увеличивает капиталовложения, но сокращает эксплуатационные издержки, расходы на восстановление линий при авариях.

В Новой Зеландии отводится важная роль созданию густой сети метеорологических пунктов. Это связано с тем, что точные сведения о повторяемости снегопадов, гололеда и сильных ветров для каждого района имеют большое значение для правильного проектирования

сетей. Кроме того, своевременный прогноз опасных ситуаций может оказать большую помощь в снижении масштаба последствий аварий. Может быть заранее подготовлена соответствующая техника, люди, разработана программа действий, что позволит значительно сократить продолжительность ремонтных работ в случае аварии.

Самым эффективным мероприятием для повышения надежности работы сельских сетей, проходящих в районах с тяжелыми климатическими условиями, по мнению специалистов энергетического управления Новой Зеландии, является перевод сетей на подземный кабель.

США

Для борьбы с гололедно-ветровыми авариями в США разработан соответствующий метод расчета ВЛ. Нагрузки, действующие на опоры и зависящие от климатических условий, делятся на три класса: тяжелые, средние, легкие. Вся территория США разбита на три климатических зоны, для каждой из которых разработаны расчетные значения гололеда, ветра и температуры.

Проектировщик в зависимости от пролета, стрелы провеса и нормативных нагрузок на провода определяет нагрузки на опоры по номограммам, имеющимся для всех климатических зон и всех размеров проводов.

Однако гололедно-ветровые аварии довольно часто происходят в сетях США. Одной из причин этого является, наряду с другими причинами, несоблюдение требований Правил устройства электроустановок США, имеющее место на практике, в частности, в ряде сельских сетей.

В комплекс мер по снижению числа гололедно-ветровых аварий в США входят, наряду с другими мерами, многочисленные инспекции и проверки состояния электросетей, в том числе на соответствие существующим в стране стандартам.

По сравнению с другими странами, электрические сети США отличаются довольно высокой надежностью. Так, число перерывов электроснабжения на одного потребителя в США не превышает 2–3 в год, продолжительность перерывов не превышает 1–2 часа. Эти значения находятся на уровне аварийности в других самых развитых странах, таких как Япония, Великобритания, Германия.

Япония

Линии электропередачи распределительных сетей Японии выполнены, как правило, воздушными, за исключением крупных городов и районов с очень высокой плотностью нагрузки, где

применяются подземные кабельные сети или подземные в сочетании с воздушными.

Преобладание воздушных линий в Японии мотивируется следующими обстоятельствами:

- в Японии преобладают деревянные дома, которые часто перестраивают или переносят. Воздушные линии проще приспособить к таким условиям, чем подземные;
- в Японии мало свободных земель, дороги узкие, широкое строительство кабельных подземных линий в значительной степени нарушало бы дорожное движение;
- воздушные линии намного дешевле подземных;
- воздушные линии легче обслуживать и ремонтировать.

Поскольку японские распределительные сети в основном воздушные, для повышения надежности электроснабжения необходимо учитывать следующие факторы:

- воздушные линии подвержены влиянию атмосферных явлений (ветра, осадков, грозы, солнечного излучения, отложений пыли, соли);
- поскольку воздушные линии проходят в основном вдоль дорог или мимо домов, они подвергаются наездам автотранспорта, получают повреждения при строительстве дорог или зданий;
- возможен контакт элементов ВЛ с другими объектами (деревьями, антеннами и т.д.).

Основной причиной аварий в распределительных сетях Японии являются грозы (22,1% от числа всех отказов). Из-за ветра, дождя, наводнений происходит 19,4% отказов; из-за гололеда, снега - 7,8% отказов. Землетрясения, оползни, снежные лавины являются причиной 0,8% отказов. 10,2% отказов происходит из-за контакта с посторонними объектами.

Аварии от постороннего воздействия составляют 14,4% от всех отказов, в том числе, из-за намеренных или ошибочных действий населения происходит 11,7% отказов, рубки леса - 1,2% отказов, загрязнения пылью, солью, газами - 0,6% отказов, из-за пожаров - 0,4% отказов, из-за ошибочных действий монтеров - 0,5% отказов.

Некачественная эксплуатация является причиной 10,2% отказов, в том числе, плохое обслуживание и естественный износ - 9,8% отказов, перегрузка - 0,4% отказов.

Из-за неисправности оборудования в японских распределительных сетях происходит 7,2% от числа всех отказов. 0,6% аварий вызывается другими авариями, в собственной сети или в других сетях. В 5,1% случаях причину отказов установить не удалось.

Наиболее повреждаемыми элементами ВЛ в Японии являются провода (33,5% отказов), затем изоляторы - (9,1% отказов), затем опоры (6,7% отказов). Причем из-за повреждений деревянных опор происходит больше отказов (3,8%), чем из-за железобетонных опор (2,7%). Меньше всего повреждаются стальные трубчатые опоры - (0,2% отказов).

Аварийность в японских сетях в течение последнего десятилетия заметно снизилась. Этому способствовало принятие целого комплекса мер.

Важнейшей мерой по уменьшению аварийности, принятой в Японии в последние годы, явилось совершенствование изоляционных материалов, оборудования и конструкций. Сюда входят такие мероприятия как замена деревянных опор железобетонными, деревянных траверс - траверсами из легких металлов.

Эффективной мерой является широкое применение в Японии изолированных проводов на ВЛ. Это позволяет снизить число аварий из-за контакта проводов с другими объектами.

Внедрение изолированных проводов началось в Японии после 1965 г. с разработкой высококачественных изоляционных материалов, устойчивых к атмосферным воздействиям. Преобладают провода с изоляцией из высокопрочного полиэтилена, для наружной установки, типа ОЕ и ОС. Материалом проводника в этих проводах является медь. Номинальный размер провода ОС 100 – 150 мм², провода ОЕ - 60 мм². Наружный диаметр провода ОС составляет 13 – 16,5 мм, провода ОЕ - 5 – 10 мм. Толщина полимерной изоляции в этих проводах 2,0 – 2,5 мм. Приблизительный вес провода ОС 1050 – 1530 кг/км, провода ОЕ 220 – 645 кг/км. Прочность провода на растяжение составляет для типа ОС 4010 – 5390 кг, для типа ОЕ 760 – 2410 кг.

Еще одной мерой по снижению аварийности ВЛ, применяемой в Японии, является совершенствование конструкции фарфоровой изоляции. Главная причина выхода из строя штыревых фарфоровых изоляторов - появление в них волосяных трещин. Такие трещины появляются, например, при заделке штырей в изолятор с помощью цемента, который при затвердении расширяется и создает внутренние напряжения в изоляторе. Для избежания этого штыри перед заделкой стали покрывать слоем специальной краски, которая играет роль амортизирующей прокладки. Были также разработаны новые конструкции штыревых изоляторов.

В Японии также проводится совершенствование конструкции электрических аппаратов. Чтобы избежать перекрытий трансформаторных вводов из-за их загрязнения, были разработаны конструкции трансформаторов с готовой заделкой проводов во вводы.

Для борьбы с налипанием снега на провода в Японии стали применять провода специальной конструкции, с устройством ребер на изоляционной оболочке.

Для совершенствования защиты распределительных сетей в Японии внедряется молниезащита сетей с помощью разрядников и грозозащитных тросов.

С целью уменьшения загрязнения электрической аппаратуры пылью и солью практикуется замена старой, загрязненной аппаратуры на новую. Чтобы уменьшить загрязнение уже установленной аппаратуры, применяются ограждающие щитки.

Для уменьшения длительности перерывов электроснабжения в Японии применяют совершенствование конфигурации электрической сети, автоматическое отыскание поврежденного участка сети и механизацию поиска места повреждения на отключенном участке.

Работы по повышению надежности электрических распределительных сетей в Японии ведутся постоянно. В частности, разрабатываются методы отыскания изношенных элементов сети, проверки состояния изоляции, автоматизации переключения сети на резервное питание и др.

* * *

Таким образом, во многих странах за рубежом проводится работа по уменьшению аварийности воздушных линий электропередачи, в частности, по снижению количества и тяжести последствий гололедно-ветровых аварий, широко распространенных на ВЛ в различных странах. При этом абсолютная надежность не может быть достигнута, однако объем разрушений при гололедно-ветровых авариях должен быть снижен до уровня, при котором возможно восстановление электроснабжения в течение нескольких часов.

По вопросам информации, публикуемых в РУМ, а также их заказа
следует обращаться по телефонам: (095) 374-71-00 или 374-66-09;
по факсу: (095) 374-66-08 или 374-62-40

Подписано в печать

“ ” 2001 г.

Первый заместитель
Генерального директора

А.С.Лисковец

Ответственный за выпуск

В.И.Шестопалов

Усл. печ.лист
Тираж 275 экз.

Формат 60x84/8
Учетн.-изд.лист
Зак. №

АООТ РОСЭП
111395, Москва, Аллея Первой Маевки, 15
тел 374-71-00, 374-66-09
факс 374-66-08, 374-62-40

МСЛ - 004174