

УЧЕТ КЛИМАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

АВТОРЫ:

ЛУГОВОЙ В.А.,
К.Т.Н.,
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

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

ЧЕРЕШНЮК С.В.,
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Проект любой ВЛ должен учитывать ветровую, гололедную и гололедно-ветровую нагрузки. Расчетные условия по ветру и гололеду должны приниматься из соответ-

ствующих карт климатического районирования с учетом ряда коэффициентов. Такие карты базируются на огромном массиве метеоданных. Разработка карт представляет собой сложный, трудоемкий процесс.

Ключевые слова: база данных, ветровые нагрузки при гололеде, гололедные нагрузки, климатические нагрузки, климатические условия, климатические районы, коэффициент вариации, надежность, нормативные нагрузки, расчетные нагрузки.



Опора ЛЭП, упавшая в результате обледенения в районе Востряковского проезда на юге Москвы

ВВЕДЕНИЕ

При создании новых и техперевооружении действующих ВЛ, в соответствии с правилами устройств электроустановок (ПУЭ), должны учитываться климатические условия – давление ветра на провода и опоры, масса и размер гололедных отложений, а также совместное воздействие ветрового давления на обледенелый провод. Исходя из климатических условий, при проектировании любой ВЛ должны определяться климатические нагрузки – ветровая, гололедная и ветровая при гололеде.

Согласно СНиП 2.01.07-85* [1] и ГОСТ 27751-88 [2] строительные конструкции должны быть спроектированы с достаточной надежностью (способностью сохранять заданные эксплуатационные качества в течение определенного срока службы) с учетом степени ответственности проектируемого объекта.

При определении климатических нагрузок необходимо учитывать рекомендации МЭК в соответствии с требуемым уровнем надежности и степенью ответственности ВЛ.

ТРЕБОВАНИЯ ПУЭ-7 В ЧАСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

НОРМАТИВНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

Определение климатических нагрузок производится на основании климатических условий – скорости ветра, толщины стенки гололеда и ветровой нагрузки при гололеде (воздействия ветрового давления на обледенелый провод). Параметры климатических условий принимаются на основании соот-

ветствующих региональных карт климатического районирования или путем обработки данных многолетних наблюдений метеостанций.

В качестве нормативных значений климатических условий приняты максимальные за год климатические условия с вероятностью не превышения 0,96 для провода диаметром 10 мм, подвешенном на высоте 10 м над поверхностью земли. Значения климатических условий подразделяются по районам. В ПУЭ-7 [3] выделено 7 районов по ветру с выделением особого района со скоростью ветра выше 49 м/с, 7 районов по гололеду с выделением особого района с толщиной стенки гололеда более 40 мм и 8 районов по ветровой нагрузке при гололеде с выделением особого района с ветровой нагрузкой при гололеде выше 28 Н/м.

Исходя из принятых для районов параметров климатических условий, определяются нормативные климатические нагрузки на ВЛ с учетом диаметра провода, высоты подвеса провода (нагрузка на провода), с учетом центра тяжести проводов, тросов и средних точек зон конструкций опор ВЛ (нагрузка на опоры).

Ветровая нагрузка – ветровое давление (Па) – определяется по скорости ветра (м/с), а гололедная (Н/м) – по толщине стенки гололеда (мм).

Для определения ветровой нагрузки при гололеде на конструкции опор и провода для каждого района по данным метеонаблюдений должны быть определены скорость ветра при гололеде V_z (м/с) с повторяемостью 1 раз в 25 лет и условная толщина стенки гололеда b_y (мм).

РАСЧЕТНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

Расчетные климатические нагрузки определяются по нормативным

климатическим нагрузкам путем введения коэффициентов:

- по ответственности (γ_{nv}),
- по надежности (γ_f),
- регионального (γ_p)
- по условиям работы (γ_d).

Коэффициенты γ_{nv} , γ_f , γ_d , γ_p имеют конкретные значения. Региональный коэффициент принимает значения от 1 до 1,5 и определяется на основании опыта эксплуатации в соответствии с СТО 56947007-29.240.056-2010 «Методические указания по определению региональных коэффициентов при расчете климатических нагрузок». Это значение указывается в задании на проектирование.

После введения указанных коэффициентов период повторяемости получаемой расчетной климатической нагрузки увеличивается. Фактически расчетная нагрузка будет повторяться не 1 раз в 25 лет (как нормативная нагрузка), а в n раз реже.

Действующие в РФ линии электропередачи (даже при условии проектирования их на одинаковые нормативные климатические нагрузки) в разных физико-географических районах имеют различные периоды повторяемости для каждой из расчетных климатических нагрузок (ветровой, гололедной и ветровой при гололеде). Таким образом, ВЛ, рассчитанные по принятым в настоящее время методам, имеют различную надежность по отношению к различным климатическим воздействиям.

НАДЕЖНОСТЬ И СТЕПЕНЬ РИСКА ПРИНЯТЫХ РАСЧЕТНЫХ НАГРУЗОК

Целесообразно осуществлять проектирование ВЛ с учетом климатических нагрузок с одинаковой вероятностью не превышения (повторяемостью) для различных кли-

СТЕПЕНЬ РИСКА И НАДЕЖНОСТЬ

Повторяемость 1 раз в период, лет, (<i>T</i>)	Вероятность непревыше- ния расчетных нагрузок, (<i>p</i>)	Срок службы ВЛ, лет			
		40		50	
		Надежность нагрузок (<i>P</i>)	Степень риска (<i>R</i>)	Надежность нагрузок (<i>P</i>)	Степень риска (<i>R</i>)
10	0,9	0,01	0,99	0,01	0,99
25	0,96	0,20	0,80	0,13	0,87
50	0,98	0,45	0,55	0,36	0,64
100	0,99	0,67	0,33	0,61	0,39
150	0,993	0,77	0,23	0,72	0,28
500	0,998	0,92	0,08	0,90	0,10

Таблица 1

матических условий (ветер, гололед и ветровая нагрузка при гололеде).

Линии электропередачи должны проектироваться с требуемой надежностью в зависимости от их уровня ответственности.

Появление нагрузок, превышающих принятые расчетные нагрузки, возможно в любой год в течение эксплуатации ВЛ. Вероятность превышения расчетных величин за выбранный период определяют с помощью известных соотношений теории вероятностей.

Вероятность превышения расчетных нагрузок за год (*p*) равна [8]:

$$p=1-\varphi=1-1/T,$$

где φ – вероятность того, что нагрузка превзойдет расчетную величину по крайней мере 1 раз в году; $1/T$ – вероятность того, что нагрузка превзойдет расчетную величину по крайней мере 1 раз в году, где в числителе «1» обозначает 1 год, а знаменатель T – период повторяемости (расчетных) нагрузок в годах.

Надежность принятых расчетных нагрузок ВЛ (*P*) – вероятность того,

что ни в одном году за период n лет нагрузка не превзойдет заданную величину, будет равна

$$P = p^n = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n.$$

Степень риска принятых расчетных нагрузок (*R*) – вероятность того, что нагрузка будет больше заданной величины хотя бы раз за n лет, определяется как

$$R=1-P=1-(1-1/T)^n.$$

Для ВЛ при сроке службы $n = 40$ и 50 лет степень риска (*R*) и надежность (*P*) принятых расчетных нагрузок для требуемой вероятности превышения (*p*), повторяемости (*T*) представлены в таблице 1.

Таким образом, с увеличением периода повторяемости климатических нагрузок уменьшается вероятность появления нагрузок, превышающих заданные величины (увеличивается вероятность превышения), т. е. уменьшается степень риска.

Оценим надежность и степень риска определенных по ПУЭ-7 расчетных гололедных нагрузок. Если учесть, что средний период повторяемости расчетных гололед-

ных нагрузок составляет 77 лет [9], то при этом надежность принятых расчетных гололедных нагрузок за срок службы линии, равный 40 годам, составит 0,59, а степень риска – 0,41. Таким образом, за 40 лет эксплуатации ВЛ гололедные нагрузки могут превышать расчетные с вероятностью 41%.

РЕКОМЕНДАЦИИ МЭК И СИГРЕ

В документах МЭК и СИГРЕ рекомендуется определять расчетные нагрузки на ВЛ исходя из требуемого уровня надежности ВЛ и вероятности превышения расчетных климатических нагрузок:

- для ВЛ 220 кВ и ниже – 0,98 (повторяемость 1 раз в 50 лет);
- для ВЛ 330 кВ и выше – 0,993 и 0,998 (повторяемость 1 раз в 150 и 500 лет);
- в некоторых случаях для ВЛ 110, 220 кВ и выше – 0,993 и 0,998 (повторяемость 1 раз в 150 и 500 лет);
- для протяженных ВЛ, чтобы уменьшить возможный риск, вероятность превышения должна быть увеличена.

При этом эмпирические интегральные функции распределения данных наблюдений метеостанций аппроксимируются функцией первого предельного распределения.

ГАРМОНИЗАЦИЯ РОССИЙСКИХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ НОРМ

С целью гармонизации российских и международных норм ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» разработаны соответствующие документы.

«Руководящие указания по определению климатических параметров и нагрузок с разной обеспеченностью в зависимости от ответственности ВЛ» (проект), 2004 г.

В документе приведена методика определения параметров климатических условий аналитическим методом. Методика позволяет определять климатические нагрузки с разной обеспеченностью в зависимости от ответственности ВЛ.

При разработке документа учитывались рекомендации МЭК и СИГРЕ. В указанных Руководящих указаниях использованы современные отечественные разработки в области определения климатических условий, учета климатических нагрузок и опыта эксплуатации ВЛ.

Методика предусматривает возможность перехода от нагрузок с вероятностью превышения 0,96 к нагрузкам с требуемой вероятностью превышения с учетом требований заказчика.

СТО 56947007-29.240.055-2010 «Методические указания по расчету климатических нагрузок в соответствии с ПУЭ-7 и построению региональных карт климатического районирования».

Выполнена актуализация ранее действовавших методических указаний по определению климатиче-

ских нагрузок и построению карт регионального районирования, разработанных в 1990 году. Актуализация производилась на основе «Руководящих указаний по определению климатических параметров и нагрузок с разной обеспеченностью в зависимости от ответственности ВЛ» и требований главы 2.5 ПУЭ-7.

Данные методические указания позволяют на основании исходных данных наблюдений метеорологических станций и данных опыта эксплуатации производить оценку климатических условий с вероятностью превышения 0,96 и построение карт регионального районирования рассматриваемой территории по ветру, гололеду и ветровой нагрузке при гололеде.

СТО 56947007-29.240.057-2010 «Методические указания по определению климатических нагрузок на ВЛ с учетом ее длины».

Климатические нагрузки по нормативным документам РФ и в соответствии с международными документами определяются на основании климатических условий для конкретного пункта местности (точки ВЛ). Климатические условия и нагрузки, определенные по приведенным методам, справедливы для любой точки местности или ВЛ. При этом подразумевается, что эти условия распространяются на всю длину ВЛ. Однако линия электропередачи представляет собой протяженный объект, на котором параметры климатических условий изменяются независимо друг от друга как по длине ВЛ, так и по времени их появления. Период повторяемости и число случаев превышения климатических условий для ВЛ в целом будет отличаться от периода повторяемости и числа случаев для каждой конкретной точки ВЛ. В итоге принятое допущение ведет к недооценке веро-

ятности возникновения нагрузок, превышающих расчетные по ВЛ в целом. Особенно это характерно для ВЛ длиной более 100 км.

Для линий протяженностью более 100 км при определении климатических нагрузок разработаны «Методические указания по определению климатических нагрузок на ВЛ с учетом ее длины», учитывающие особенности атмосферной циркуляции на рассматриваемой территории.

Используя указанную методику, можно оценить вероятность превышения для ВЛ в целом по вероятности превышения климатических нагрузок в конкретной точке. И, наоборот, задаваясь вероятностью превышения для ВЛ в целом можно оценить необходимую для этого вероятность превышения в каждой точке ВЛ.

СТО 56947007-29.240.056-2010 «Методические указания по определению региональных коэффициентов при расчете климатических нагрузок».

В соответствии с требованиями ПУЭ-7 при расчете нагрузок на ВЛ применяются региональные коэффициенты, при этом не указываются их конкретные значения. В указанном стандарте приведены методы определения величины регионального коэффициента на основании данных опыта эксплуатации ВЛ и данных наблюдений метеорологических станций.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ КАРТЫ КЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ. СОВРЕМЕННАЯ ПРАКТИКА ИХ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ

Разнообразие физико-географических и орографических условий местности по территории РФ и отсутствие пунктов наблюде-

ИНФОРМАЦИЯ

ВЕЛИКИЙ ГОЛОЛЕД 1998 ГОДА

Так называется явление, случившееся в январе 1998 года в Северной Америке от Восточной Онтарио до Квебека и Новой Шотландии в Канаде и от Нью-Йорка до штата Мэн в США. Гололед нанес значительный ущерб электрической инфраструктуре, что вызвало продолжительные нарушения энергоснабжения. Около 1000 стальных электрических опор и 35 000 деревянных столбов были обрушены и смяты большой массой льда, были оборваны многие линии высокого напряжения. Миллионы людей остались без света на несколько недель. Более 40 человек погибло, в крупных городах, таких как Монреаль и Оттава, прекратилась всякая экономическая деятельность. Было потрачено беспрецедентное количество сил и средств на реконструкцию электроэнергетической системы. Ущерб, нанесенный электроэнергетической системе, был настолько велик, что потребовалась крупная реконструкция электросетей. Совокупный ущерб по всем регионам составил почти 6 миллиардов долларов США.

ний на некоторых территориях не дает возможности определять климатические условия по данным наблюдений метеостанций. С этой целью применяются другие способы определения.

Одним из способов обобщения и наглядного представления основных пространственных закономерностей распределения климатических условий являются карты климатического районирования [7]. Формой детализации данных карт являются климатические районы в пределах соответствующих интервалов градаций.

Главное назначение региональных карт климатического районирования состоит в том, что с их помощью можно определить климатический район заданной территории (точки). При составлении региональных карт районирования климатических условий по территории регионов приняты масштабы бланков гипсометрических карт масштабов 1:500 000 – 1:1 000 000.

Применение при районировании более крупных масштабов карт нецелесообразно при современном количестве метеостанций и их размещении по территории, так как нет возможности подробно представить зависимости климатических параметров от особенностей подстилающей поверхности.

Региональные карты климатического районирования должны разрабатываться по данным наблюдений метеорологических станций продолжительностью более 30 лет с учетом опыта эксплуатации действующих ВЛ. Для построения карт регионального районирования были разработаны и используются СТО 56947007-29.240.055-2010 и СТО 56947007-29.240.057-2010.

Региональные карты климатического районирования дают достовер-

ные сведения о климатических условиях в рассматриваемом районе, позволяют уменьшить сроки и стоимость проектирования ВЛ.

Региональные карты климатического районирования позволяют определять климатические нагрузки с любой необходимой вероятностью неперевышения, что позволяет создавать ВЛ с любой заданной надежностью.

Основная сложность при построении региональных карт климатического районирования заключается в самой природе гололедных и ветровых явлений. Их распределение по территории очень сильно зависит от местных особенностей рельефа и местной циркуляции атмосферы. Например, даже небольшие по масштабам объекты рельефа местности, такие как холмы, возвышенности, балки и другие, могут вносить значительные изменения в картину распределения ветровых и гололедных явлений по территории. Существующие статистические данные, т. е. данные наблюдений метеорологических станций, относятся лишь к одной точке местности и характеризуют лишь небольшую территорию вокруг, а ВЛ является пространственно протяженным объектом.

Поэтому актуальной задачей климатологов является учет различных климатических, орографических и циркуляционных особенностей региона, анализ и экстраполяция дискретной исходной информации в непрерывную пространственную картину. Для этого используется современный математический аппарат вместе с новейшими информационными технологиями.

Начиная с 2001 года, ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» (ранее ВНИИЭ) ведет целенаправленную работу по повышению уровня автоматизации при разработке региональных карт

климатического районирования и определению климатических нагрузок на ВЛ. Эти работы включают в себя автоматизацию всех этапов, предшествующих построению карты климатического районирования и получению расчетных климатических нагрузок.

К настоящему моменту автоматизированы процессы сбора и хранения исходной информации по данным наблюдений метеорологических станций, составления и обработки исходных рядов, статистических рядов, расчета параметров, определения климатических характеристик с заданной вероятностью неперевышения.

В целях ускорения, автоматизации и оптимизации процесса определения климатических параметров для расчета климатических нагрузок на воздушные линии электропередачи была создана информационная система (ИС) по климатическим характеристикам.

Эта ИС состоит из базы данных (БД) по климатическим характеристикам и программной оболочки, осуществляющей обработку и манипуляцию данными БД. Использование информационной системы позволяет автоматизировать и ускорить процесс определения климатических нагрузок.

БД содержит сведения о климатических условиях на территории РФ по 1860 метеостанциям по ветру и по 1254 метеостанциям по гололеду за многолетний период по:

- величине максимальной скорости ветра;
- гололедно-изморозевым отложениям;
- дате отложения;
- виду отложения;
- размерам отложения;
- массе отложения;
- скорости и направлению ветра в начале обледенения;

СХЕМА БАЗЫ ДАННЫХ «КЛИМАТОЛОГИЯ ВЛ»

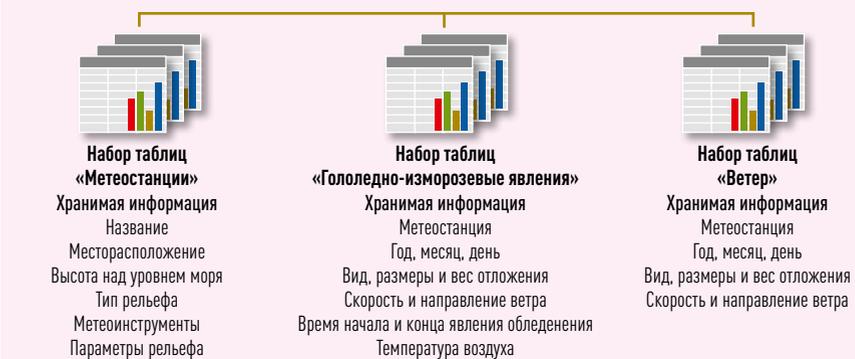


Рис. 1

- максимальной скорости направления ветра за период обледенения.
 - высоту станции над уровнем моря, м;
 - высоту флюгера с легкой доской, м;
 - высоту флюгера с тяжелой доской, м;
 - высоту анеморумбометра, м.
- Для каждой метеостанции в БД хранится следующая информация:
- название метеостанции;
 - республика, область, край;

ФРАГМЕНТЫ КАРТЫ РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ТУАПСИНСКОГО РАЙОНА ПО МАКСИМАЛЬНЫМ ВЕТРОВЫМ НАГРУЗКАМ

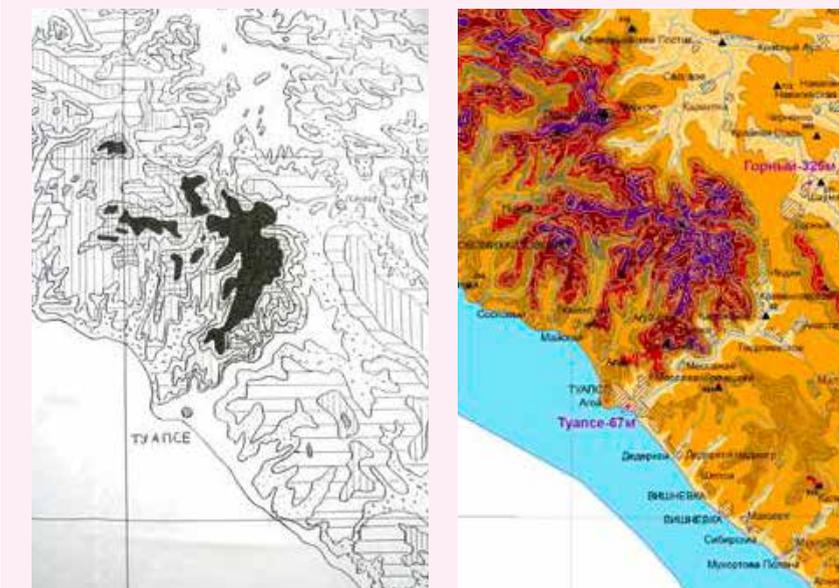


Рис. 2

УМЕНЬШЕННАЯ КАРТА-СХЕМА РАЙОНИРОВАНИЯ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ВЕТРОВЫМ НАГРУЗКАМ ПРИ ГОЛОЛЕДЕ С ПОВТОРЯЕМОСТЬЮ 1 РАЗ В 25 ЛЕТ



Рис. 3

УМЕНЬШЕННАЯ КАРТА-СХЕМА РАЙОНИРОВАНИЯ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ ПО МАКСИМАЛЬНОЙ ТОЛЩИНЕ СТЕНКИ ГОЛОЛЕДА С ПОВТОРЯЕМОСТЬЮ 1 РАЗ В 25 ЛЕТ

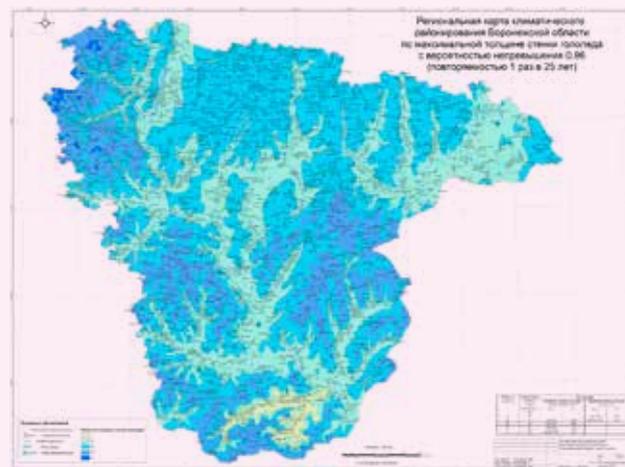


Рис. 4

На рис. 1 представлена схема используемой базы данных с описанием основных ее характеристик.

Программная оболочка позволяет осуществлять работу с данными, хранящимися в БД, которая включает:

- автоматическое пополнение БД новыми данными наблюдений метеостанций, получаемыми в электронном виде;
- приведение данных наблюдений к однородному виду;
- составление статистического ряда для выбранной метеостанции;
- получение статистических характеристик ряда;
- аппроксимация ряда различными теоретическими распределениями;
- составление и последующая печать итогового отчета для выбранной метеостанции.

Информационная система позволяет получить интегральные распределения и величины климатических характеристик с разной вероятностью их превышения с целью определения климатических нагрузок на ВЛ на основе статистической обработки метеоданных из БД.

Работы на этапе построения региональных карт климатического районирования, на котором определяются высотные зависимости рассматриваемой климатической характеристики (скорость ветра, толщина стенки гололеда, ветровая нагрузка при гололеде) от абсолютной высоты местности, выполняются вручную, так как требуют участия климатолога в построении зависимости. В перспективе предполагается разработка программного инструментария, помогающего климатологу в выполнении этой работы.

КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕСЧЕТА K_V НОРМАТИВНОГО ВЕТРОВОГО ДАВЛЕНИЯ В РАСЧЕТНОЕ ВЕТРОВОЕ ДАВЛЕНИЕ

Коэффициент вариации скорости ветра, c_v	Коэффициенты пересчета K_V с вероятностью не превышения				
	0,96	0,98	0,99	0,993	0,998
0,05	1,0	1,06	1,10	1,14	1,25
0,1	1,0	1,10	1,21	1,28	1,46
0,2	1,0	1,17	1,37	1,46	1,85
0,3	1,0	1,23	1,49	1,64	2,13
0,4	1,0	1,28	1,56	1,77	2,40
0,6	1,0	1,32	1,72	1,93	2,76
0,8	1,0	1,37	1,80	2,07	3,03
1,0	1,0	1,39	1,88	2,16	3,20

Таблица 2

Примечание. Коэффициент вариации c_v максимальных за год скоростей ветра принимается по региональным картам районирования или путем обработки многолетних наблюдений метеостанций.

КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕСЧЕТА НОРМАТИВНОЙ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ГОЛОЛЕДА И НОРМАТИВНОЙ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ГОЛОЛЕДЕ В ЗНАЧЕНИЯ С РАЗЛИЧНОЙ ВЕРОЯТНОСТЬЮ НЕПРЕВЫШЕНИЯ

Коэффициент вариации, c_v	Коэффициенты пересчета с вероятностью не превышения				
	0,96	0,98	0,99	0,993	0,998
0,3	1,0	1,11	1,22	1,28	1,46
0,4	1,0	1,13	1,25	1,33	1,55
0,6	1,0	1,15	1,31	1,39	1,66
0,8	1,0	1,17	1,34	1,44	1,74
1,0	1,0	1,18	1,37	1,47	1,79
1,2	1,0	1,20	1,39	1,50	1,84
1,4	1,0	1,20	1,40	1,52	1,87
1,6	1,0	1,21	1,42	1,54	1,90
1,8	1,0	1,21	1,43	1,55	1,92
2,0	1,0	1,22	1,44	1,56	1,93
2,2	1,0	1,22	1,44	1,57	1,95

Таблица 3

Примечание. Коэффициент вариации c_v максимальных за год толщин стенок гололеда и ветровых нагрузок при гололеде принимается по региональным картам районирования или путем обработки многолетних наблюдений метеостанций.

ИНФОРМАЦИЯ

ГОЛОЛЕД

Гололед образуется в результате замерзания атмосферных осадков (дождя, тумана, изморози, мокрого снега и др.), попадающих на холодную поверхность, которая не успевает согреться за время кратковременного вторжения теплых воздушных масс.

Нарастание гололеда происходит в течение нескольких часов (от 1 до 12). На проводах, находящихся под напряжением, величина отложившегося льда почти на 30% больше, чем на проводах обесточенных. Гололедные отложения нарастают в направлении, поперечном движению воздушных масс. Если фронт движется с запада, то отложения толще на проводах (иногда – в три раза), расположенных в меридиональном направлении. И, наоборот, при меридионально направленных потоках воздуха отложения толще на проводах, расположенных по широте.

Полученные высотные зависимости используются для построения региональных карт климатического районирования с повторяемостью 1 раз в 25 лет по максимальной скорости ветра, максимальной толщине стенки гололеда и мак-

симальной ветровой нагрузке при гололеде.

Для формирования региональных карт климатического районирования используется геоинформационная система [5]. Географическая информационная система (ГИС) – это система управления географической информацией, ее анализа и отображения. Географическая информация представляется в виде серий наборов географических данных, которые моделируют географическую среду посредством простых обобщенных структур данных. ГИС включает наборы современных инструментальных средств для работы с географическими данными.

Применение ГИС позволяет создавать региональные карты с высоким уровнем детализации ареалов распространения расчетных климатических районов.

В качестве примера на рис. 2 представлены два фрагмента одной и той же карты регионального районирования, для одной и той же территории, но выполненные вручную и с помощью ГИС-технологий.

Рис. 2 демонстрирует, что использование ГИС позволяет получить более детализированную, четкую и легкую для восприятия информацию о климатических районах, их границах по отношению к общегеографическим ориентирам, таким как населенные пункты, реки, береговая линия, отметки высот местности и др.

На рис. 3 и 4 представлены уменьшенные карты ветровых нагрузок при гололеде и максимальных толщин стенок гололеда с вероятностью не превышения 0,96 (повторяемостью 1 раз в 25 лет) для территории Воронежской области. Карты выполнены в масштабе 1:500 000 и имеют размер 80×59 см,

что позволяет судить о высокой степени детализации территории по ветровым нагрузкам при гололеде.

Карты несут в себе всю необходимую информацию для привязки к местности: абсолютные отметки местности, населенные пункты, административные границы, гидрологическую сеть (реки, озера). По желанию заказчика возможно нанесение на карты дополнительной информации (автомобильные и железные дороги, метеостанции, существующие ВЛ и др.).

На картах приводятся дополнительные параметры, необходимые при проектировании и эксплуатации энергообъектов, такие как климатические районы и нормативные величины климатических условий, параметры, позволяющие определять климатические нагрузки с любой необходимой вероятностью не превышения.

К настоящему времени ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» выполнило работу по построению региональных карт климатического районирования по всем 79 субъектам Российской Федерации. Карты построены в зависимости от размеров территории субъектов и густоты сети метеостанций в масштабах 1:500 000 – 1:1 000 000 по ветровому давлению (максимальной скорости ветра), толщине стенки гололеда и ветровой нагрузке при гололеде.

На региональных картах для каждого климатического района, помимо нормативных значений и высотных отметок районов, приведены коэффициенты вариаций, использование которых позволяет определить значения климатических нагрузок с различной вероятностью не превышения.

Расчетные климатические нагрузки определяются по нормативным

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ УРОВНИ НАДЕЖНОСТИ ВЛ

Класс напряжения ВЛ, кВ	Длина ВЛ, не более, км	Рекомендуемый уровень надежности	Вероятность не превышения расчетной нагрузки, <i>p</i>	Период повторяемости, <i>T</i> , лет
35	30	II	0,98	50
110	100	III	0,99	100
220	300			
330	300	IV	0,993	150
500	1000			
750	2000	V	0,998	500

Таблица 4

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОТНОШЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК С РАЗЛИЧНОЙ ВЕРОЯТНОСТЬЮ НЕПРЕВЫШЕНИЯ К РАСЧЕТНЫМ ВЕТРОВЫМ НАГРУЗКАМ, ОПРЕДЕЛЕННЫМ В СООТВЕТСТВИИ С ПУЭ-7

Коэффициент вариации	Вероятность не превышения			
	0,98	0,99*	0,993*	0,998*
0,05	0,82	0,85	0,80	0,87
0,10	0,85	0,93	0,90	1,02
0,20	0,90	1,05	1,02	1,29
0,30	0,95	1,15	1,15	1,49

Таблица 5

* За исключением первого района по ветру.

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОТНОШЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ГОЛОЛЕДНЫХ НАГРУЗОК НА ПРОВОД С РАЗЛИЧНОЙ ВЕРОЯТНОСТЬЮ НЕПРЕВЫШЕНИЯ К РАСЧЕТНЫМ ГОЛОЛЕДНЫМ НАГРУЗКАМ, ОПРЕДЕЛЕННЫМ В СООТВЕТСТВИИ С ПУЭ-7

Коэффициент вариации	Вероятность не превышения															
	0,98				0,99				0,993				0,998			
	район по гололеду				район по гололеду				район по гололеду				район по гололеду			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
0,4	0,90	0,91	0,75	0,75	1,04	1,06	0,87	0,88	0,75	0,85	0,74	0,75	0,93	1,12	0,94	0,96
0,6	0,93	0,94	0,77	0,78	1,10	1,13	0,94	0,95	0,80	0,95	0,79	0,81	1,02	1,24	1,05	1,08
0,8	0,95	0,96	0,79	0,80	1,14	1,17	0,97	0,99	0,87	1,00	0,84	0,85	1,10	1,34	1,13	1,16
1,0	0,96	0,97	0,80	0,81	1,17	1,21	1,01	1,02	0,86	1,03	0,86	0,88	1,14	1,40	1,18	1,22

Таблица 6

значениям климатических условий, принятым по картам районирования, с использованием коэффициентов пересчета.

На основании рекомендаций, приведенных в СТО 56947007-29.240.057-2010, в таблицах 2 и 3 даны значения коэффициентов пересчета нормативных значений в значения климатических параметров требуемого уровня надежности в зависимости от коэффициента вариации.

В таблице 2 приведены коэффициенты пересчета k , нормативного ветрового давления в ветровое давление с различной вероятностью превышения.

Коэффициент пересчета нормативной толщины стенки гололеда и нормативной ветровой нагрузки при гололеде в значения с различной вероятностью превышения определяется по таблице 3.

В соответствии с рекомендациями международных [6] и отечественных стандартов [4] линии электропередачи могут быть спроектированы для разных уровней надежности. Рекомендуемые уровни надежности ВЛ, соответствующие вероятности превышения (p), и период повторяемости (T) расчетных климатических нагрузок приведены в таблице 4.

Уровни надежности определяются периодом повторяемости расчетных климатических нагрузок или вероятностью их превышения. Линии электропередачи могут проектироваться для любого уровня надежности путем выбора периода повторяемости T .

Уровень надежности ВЛ большей длины или сооружаемых на двухцепных и многоцепных опорах, а также ВЛ, составляющих единственный источник питания,

независимо от класса напряжения должен быть повышен на один-два уровня.

Расчетные климатические нагрузки (ветровая, гололедная и ветровая при гололеде) определяются по нормативным параметрам климатических условий с использованием коэффициентов пересчета для перехода на требуемый уровень надежности ВЛ.

Расчетные климатические нагрузки, соответствующие разным уровням надежности ВЛ, сопоставлены с расчетными нагрузками, определенными в соответствии с главой 2.5 ПУЭ-7.

В таблице 5 приведены значения коэффициентов отношения расчетных ветровых нагрузок с вероятностью превышения 0,98; 0,99; 0,993 и 0,998 к расчетным ветровым нагрузкам на провода, воспринимаемым опорами в соответствии с ПУЭ-7, для коэффициентов вариации максимальных за год скоростей ветра 0,05; 0,10; 0,20 и 0,30.

В таблице 6 приведены значения коэффициентов отношения расчетных гололедных нагрузок на провод диаметром 20 мм с вероятностью превышения 0,98; 0,99; 0,993 и 0,998 к расчетным гололедным нагрузкам на провода, воспринимаемым опорами и определенным в соответствии с рекомендациями ПУЭ-7 для коэффициентов вариации максимальных за год толщин стенок гололеда 0,4; 0,6; 0,8 и 1,0.

Как видно из таблиц 5 и 6, при определении расчетных климатических нагрузок с заданной вероятностью превышения в зависимости от уровня надежности ВЛ (таблица 4) уточняются расчетные климатические нагрузки в зависимости от напряжения ВЛ и ее ответственности.

Выводы

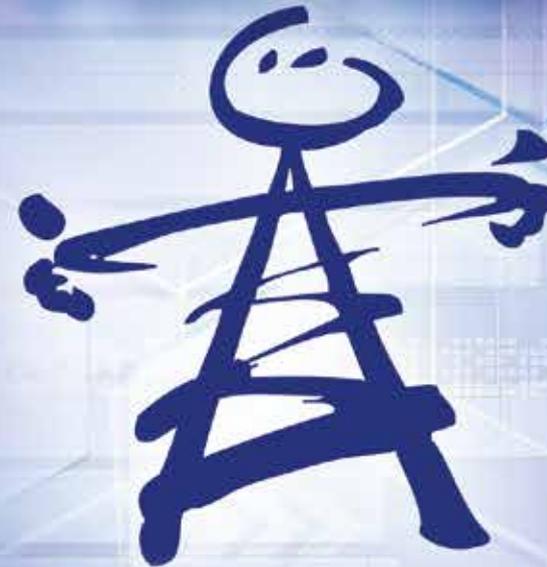
Для повышения надежности энергоснабжения потребителей при проектировании и техперевооружении ВЛ целесообразно использовать региональные карты климатического районирования, позволяющие определить расчетные климатические нагрузки с требуемой вероятностью их превышения.

При определении расчетных климатических нагрузок для воздушных линий электропередачи целесообразно более широкое использование современных информационных технологий, в том числе специализированных программных комплексов, климатологических данных и географических информационных систем (ГИС).

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия».
2. ГОСТ 27751-88 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету».
3. Правила устройства электроустановок. Раздел 2. 7-е изд. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2003.
4. Стандарт организации НП ИНВЭЛ СТО 7028424.29.240.20.003-2011 «Воздушные линии напряжением 35-750 кВ. Условия создания. Нормы и требования».
5. Черешнюк С.В., Луговой В.А., Тимашова Л.В. Учет гололедных и гололедно-ветровых нагрузок на воздушные линии электропередачи, М.: Энергия Единой Сети, 2012. – № 4. – с. 28–35.
6. IEC 60826 (2003–10) Design criteria of overhead transmission lines. Климатология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989.
7. Заварина М.В. Строительная климатология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976.
8. Луговой В.А., Тимашова Л.В., Черешнюк С.В. Учет климатических нагрузок на ВЛ. – М.: Электрические станции, 2004. – № 8. – с. 75–80.
- 9.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ РОССИИ



02–05
ДЕКАБРЯ

2014

Москва, ВДНХ
МВЦ «МосЭкспо» (пав. 75)

В РАМКАХ ВЫСТАВКИ
СОСТОИТСЯ
КОНКУРС ЭКСПОНАТОВ

При поддержке:

Минэнерго РФ

Торгово-промышленной палаты РФ

Организаторы:

«Совет ветеранов энергетиков»

ЗАО «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ»

(495) 771-6564, 963-4817

exhibit@twest.ru

www.exproelectroseti.ru

Разделы выставки:

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА.

Воздушные и кабельные линии электропередачи.

Устройства релейной защиты и противоаварийной автоматики.

АСУ ТП и информатизация, связь, АСКУЭ.



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ
ИНФОРМАЦИОННЫЙ
ПАРТНЕР



ИНФОРМАЦИОННЫЙ
ПАРТНЕР

Информационная поддержка

