

ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ВОЗДУШНЫЕ
Ветровые воздействия, гололедные
нагрузки и ветровые воздействия при гололеде

ЛІНІІ ЭЛЕКТРАПЕРАДАЧЫ ПАВЕТРАНЫЯ
Ветравыя ўздзеянні, галалёдныя
нагрузкі і ветравыя ўздзеянні пры галалёдзе

Издание официальное

Министерство энергетики
Республики Беларусь

Минск

Ключевые слова: требования, линии электропередачи воздушные, ветровые воздействия, гололедные нагрузки, ветровые воздействия при гололеде, климатическое районирование, территория Беларуси, карта ветровых районов, карта районов по гололеду, карта гололедно-ветровых нагрузок

1 РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН научно-исследовательским и проектно-изыскательским республиканским унитарным предприятием «Белэнергосетьпроект»

2 УТВЕРЖДЕН постановлением Министерства энергетики Республики Беларусь от 18 ноября 2019 г. № 39

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© Минэнерго, 2020

Настоящий технический кодекс установившейся практики не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Министерства энергетики Республики Беларусь

Издан на русском языке

СОДЕРЖАНИЕ

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки.....	1
3 Термины и определения.....	2
4 Общие положения	5
5 Расчет природных воздействий и нагрузок.....	7
5.1 Ветровые воздействия и нагрузки.....	7
5.2 Воздействия обледенения (гололедно-ветровые нагрузки)	12
6 Рекомендации по применению карт климатического районирования.....	19
Алфавитный указатель административных районов (по областям)	24
Приложение А (обязательное) Методики обработки метеоданных.....	21
Приложение Б (обязательное) Карта нормативных районов по ветру территории Республики Беларусь.....	25
Приложение В (обязательное) Карта нормативных районов по гололеду территории Республики Беларусь.....	49
Приложение Г (обязательное) Карта нормативных районов по гололедно-ветровой нагрузке территории Республики Беларусь.....	73
Приложение Д (обязательное) Карта нормативных районов по ветровому давлению при гололеде территории Республики Беларусь	97
Библиография	121

ТЕХНИЧЕСКИЙ КОДЕКС УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИКИ**ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ВОЗДУШНЫЕ****Ветровые воздействия, гололедные нагрузки и ветровые воздействия
при гололеде****ЛІНІЇ ЕЛЕКТРАПЕРАДАЧЫ ПАВЕТРАНЫЯ****Ветравыя ўздзеянні, галалёдныя нагрузкі і ветравыя ўздзеянні пры галалёдзе**

Overhead lines. Wind actions, ice loads and combined wind and ice loads

Дата введения 2020-02-01**1 Область применения**

Настоящий технический кодекс установившейся практики (далее – технический кодекс) устанавливает требования к определению используемых при проектировании воздушных линий электропередачи (далее – ВЛ) нормативных значений природных (климатических) воздействий, а также к построению карт климатического районирования территории Республики Беларусь.

Требования технического кодекса учитывают основные природные воздействия на ВЛ – ветровые и гололедно-изморозевые, в том числе действующие в сочетаниях, и не учитывают влияние грозовой активности.

Технический кодекс предназначен для применения при расчетах природных воздействий (ветровых, гололедных нагрузок и ветровых нагрузок при гололеде) для вновь вводимых в эксплуатацию и вводимых в эксплуатацию после реконструкции ВЛ с целью обеспечения надежности и безопасности их работы. При расчете нагрузок и выборе конструкций ВЛ с учетом природных воздействий наряду с техническими нормативными правовыми актами должны использоваться карты климатического районирования Беларуси, приведенные в настоящем техническом кодексе.

2 Нормативные ссылки

В настоящем техническом кодексе использованы ссылки на следующие технические нормативные правовые акты в области технического нормирования и стандартизации (далее – ТНПА):

ТКП 17.10-12-2009 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила проведения приземных метеорологических наблюдений и работ на станциях

ТКП 45-1.02-295-2014 (02250) Строительство. Проектная документация. Состав и содержание

ТКП 45-1.03-161-2009 (02250) Организация строительного производства

ТКП 181-2009 (02230) Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей

ТКП 339-2011 (02230) Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний

ТКП 385-2012 (02230) Нормы проектирования электрических сетей внешнего электроснабжения напряжением 0,4–10 кВ сельскохозяйственного назначения

ТКП 547-2014 (02230) Нормы продолжительности проектирования электрических подстанций и линий электропередачи напряжением 0,4–750 кВ

ТКП EN 1990-2011 (02250) Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций

ТКП EN 1991-1-3-2009 (02250) Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки

ТКП EN 1991-1-4-2009 (02250) Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия

СТБ 1.5-2017 Правила построения, изложения, оформления и содержания технических кодексов установившейся практики и государственных стандартов

СТБ 2331-2015 Объекты строительства. Классификация. Основные положения

СТБ ISO 12494-2009 Обледенение строительных конструкций в результате атмосферного воздействия

ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения

ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды

ГОСТ 15543.1-89 Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к климатическим внешним воздействующим факторам

ГОСТ 16350-80 Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей

ГОСТ 18311-80 Изделия электротехнические. Термины и определения основных понятий

ГОСТ 19431-84 Энергетика и электрификация. Термины и определения

ГОСТ 21027-75 Системы энергетические. Термины и определения

ГОСТ 24291-90 Электрическая часть электростанции и электрической сети. Термины и определения

ГОСТ 27751-88 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету

Примечание – При пользовании настоящим техническим кодексом целесообразно проверить действие ТНПА по каталогу, составленному по состоянию на 1 января текущего года, и по его соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочные ТНПА заменены (изменены), то при пользовании настоящим техническим кодексом следует руководствоваться заменяющими (измененными) ТНПА. Если ссылочные ТНПА отменены без замены, то положение, в котором дана ссылка на них, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем техническом кодексе применяют термины, установленные ТКП 339, ТКП 385, ТКП EN 1990, ТКП EN 1991-1-4, ТКП 17.10-12, СТБ ISO 12494, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 балка: Эрозионная долина с пологими склонами и плоским дном, без постоянного водотока. Склоны балки задернованные, часто заросшие кустарником или лесом, дно сухое, влажное или заболоченное.

3.2 воздействие: Совокупность сил (нагрузок), приложенных к конструкции (прямое воздействие).

3.3 ветровая нагрузка: Давление ветра на провода, тросы, конструкции опор ВЛ [2].

3.4 ветровая нагрузка при гололеде: Давление ветра на обледенелый провод или конструкцию ВЛ [2].

3.5 гипсометрическая однородность рельефа: Однородность рельефа по показателям высоты.

3.6 гололедно-изморозевые отложения: Отложения льда (стекловидного, кристаллического, снеговидного) на поверхности сооружений, ветвях деревьев, проводах (ТКП 17.10-12).

3.7 долина: Вогнутая линейно-вытянутая форма рельефа, в которой выделяются склоны и дно. Для русловых долин характерно дно с плавным наклоном в одном направлении, для безрусловых (сухих) долин – неровный продольный профиль.

3.8 заболоченная равнина: Плоская поверхность суши, на значительной части насыщенная водой и покрытая водолюбивой растительностью.

3.9 изморозь: Белый лед с включением воздуха (СТБ ISO 12494).

3.10 карта климатического районирования: Карта территории с распределением по местности того или иного климатического показателя.

3.11 климатические характеристики (климатические данные, климатические показатели): Обобщающие (статистические) выводы из многолетних рядов метеорологических наблюдений, характеризующие климат [3].

3.12 коэффициент лобового сопротивления: Коэффициент формы для объекта, используемый при расчете ветровых нагрузок по направлению их воздействия.

3.13 ледовый класс; IC: Параметр, выделяемый в результате классификации характеристической ледовой нагрузки на гололедном станке с определенным периодом повторяемости.

3.14 ледовая нагрузка: Воздействие обледенения на конструкцию как в виде нагрузки от собственной массы льда, так и в виде ветровой нагрузки на обледеневшую конструкцию.

3.15 ледяной покров; гололед: Слой чистого льда высокой плотности (СТБ ISO 12494).

3.16 мезорельеф: Формы рельефа земной поверхности с амплитудой высот, не превышающей нескольких десятков метров. Занимают промежуточное положение между формами макро- и микрорельефа. На территории Беларуси распространены в виде небольших гряд, ложбин, оврагов, котловин, речных долин, террас, дюн и др.

3.17 метеорологические условия: Комплекс ряда метеорологических элементов, включающий скорость ветра (ветровое давление), толщину стенки гололеда, температуру воздуха [2].

3.18 метеорологический элемент: Физическое свойство, с помощью которого описываются некоторые атмосферные процессы, наблюдаемые на метеостанциях.

3.19 метеостанция; MC: Учреждение для проведения метеорологических наблюдений с помощью измерительных приборов и оборудования, размещенных на метеорологической площадке в месте, выбранном с учетом определенных требований в отношении рельефа местности, близости зданий и населенных пунктов.

3.20 микрорельеф: Мелкие формы рельефа земной поверхности с колебаниями высот, которые не превышают нескольких метров. На территории Беларуси распространены его формы в виде мелких, небольших котловин; промоин, рытвин, боковых оврагов, небольших ложбин, конусов выноса, прирусловых и береговых валов, небольших гряд, кос, отвалов, глинистых и гравийных карьеров. Выделяются также сложные формы – чередование выпуклых и вогнутых форм, платообразных уступов, седловин, межзападных и слабоповышенных площадок.

3.21 наблюдения междусрочные: Наблюдения за атмосферными явлениями, проводимые на MC в промежутках времени между сроками наблюдений.

3.22 наблюдения срочные: Наблюдения на MC, проводимые в установленные сроки. Как правило, выделяется восемь сроков наблюдений.

3.23 нагрузка погонная, Н/м: Равномерно распределенная климатическая нагрузка, Н, отнесенная к 1 м длины провода.

3.24 нагрузки природные (климатические): Воздействия на элементы ВЛ, определяемые метеорологическими условиями и являющиеся случайными величинами.

3.25 нагрузки нормативные: Значения климатических нагрузок, определяемые с установленной обеспеченностью на основе многолетних наблюдений за максимальными величинами нагрузок в наблюдаемый период.

3.26 нагрузки расчетные: Значения климатических нагрузок, рассчитанные на основе нормативных нагрузок (3.25) с применением коэффициентов, учитывающих возможность неблагоприятных отклонений нагрузок от нормативных.

3.27 надежность принятых расчетных нагрузок воздушной линии: Вероятность того, что ни в одном году за период 25 (50) лет климатическая нагрузка на ВЛ не превзойдет заданную величину.

3.28 обеспеченность значения величины: Вероятность непревышения какого-либо значения случайной величины, для которой превышение указанного значения является неблагоприятным.

3.29 обледенение атмосферное: Процессы, при которых перемещающиеся в атмосфере (падающие) капли воды, дождь, изморозь или мокрый снег начинают примерзать или прилипать к любому объекту, находящемуся на открытом воздухе.

3.30 обледенение внутриоблачное: Обледенение, вызванное переохлаждением капель воды в облаке или тумане (СТБ ISO 12494).

3.31 обледенение осадочное: Обледенение, причинами которого могут быть осадки в виде переохлажденного дождя или мороси, мокрого снега (СТБ ISO 12494).

3.32 овраг: Эрозионная долина, образованная временным водотоком, длиной от сотен метров до нескольких километров, шириной и глубиной от нескольких до десятков метров. Для оврагов характерны крутые склоны и разветвленность.

3.33 однородный ряд: Сравнимость результатов измерения метеорологических элементов для разных пунктов и за разные периоды.

3.34 относительная высота местности, м: Превышение верхней точки возвышенного элемента рельефа над средним уровнем ближайшего равнинного участка, соизмеримого по площади с данным возвышенным элементом рельефа.

3.35 период повторяемости: Среднее количество лет, в течение которых в статистическом смысле происходит однократное превышение указанного воздействия.

3.36 порыв ветра (колебание, пульсация): Резкое кратковременное усиление ветра при скоростях 10 м/с и выше. Порывы измеряются как междусрочные максимальные значения пульсаций ветра.

3.37 равнина: Элемент рельефа земной поверхности, обширный по площади, с малыми уклонами (до 5°) и незначительными колебаниями высот (не более 100 м). В случаях, если высота и достигает 100 м, эти изменения имеют место на большом протяжении.

3.38 равнина залесенная: Равнина, покрытая растительностью, в том числе в виде отдельных массивов леса или чередования лугов и полей с участками леса.

3.39 район (радиус действия) метеостанции: Расстояние от МС (не более 100 км), для которого сохраняются в принятых пределах точности значения метеорологических параметров, измеряемых на данной станции.

3.40 расчетная точка местности (объекта): Точка (район), для которой применяются данные МС.

3.41 расчетное значение воздействия F_p : Значение, полученное путем умножения нормативного значения на общий коэффициент, учитывающий возможность неблагоприятных отклонений значений воздействий от характеристического значения.

3.42 реперные (эталонные) метеостанции; РМС: Метеорологические станции постоянного действия с непрерывным рядом однородных наблюдений на протяжении не менее 30 лет, расположенные в местах, где изменения окружающей среды, вызванные деятельностью человека, минимальны. Предназначены для установления вековых тенденций изменений климата на охватываемой ими территории, а также для выявления неоднородности рядов наблюдений на станциях основной сети вследствие изменения условий на окружающей местности или переноса станции [12].

3.43 румб: Градация направления, соответствующая, например, 45° (обозначения в румбах: север, северо-восток, восток, юго-восток, юг, юго-запад, запад, северо-запад).

3.44 склон наветренный: Склон, экспозиция которого перпендикулярна преобладающему направлению ветра или отклоняется от перпендикуляра не более чем на 45°.

3.45 склон параллельный: Склон, экспозиция которого параллельна господствующему направлению ветра или отклоняется от параллели не более чем на 45°.

3.46 склон подветренный: Склон, защищенный по отношению к преобладающему направлению ветра наветренными (3.44) и параллельными (3.45) склонами.

3.47 степень риска принятых расчетных нагрузок: Вероятность того, что нагрузка будет больше заданной величины хотя бы один раз за 25 (50) лет.

3.48 условная воздушная линия: ВЛ с проводами диаметром 10 мм, подвешенными на высоте 10 м над поверхностью земли.

3.49 условная толщина стенки гололеда b_y , мм: Толщина стенки условного гололедно-изморозевого отложения (3.6) на проводе диаметром 10 мм, подвешенном на высоте 10 м над поверхностью земли. Вычисляется для каждого района по гололедно-ветровой нагрузке на основе принятых нормативных значений ветровой нагрузки при гололеде и скоростей ветра при гололеде.

3.50 нормативное значение воздействия F_k : Характеристическое значение воздействия.

Примечание – Если характеристическое значение может быть определено на основе статистических данных, его следует устанавливать таким образом, чтобы оно соответствовало заданной вероятности не превышения данного значения в течение базового периода с учетом проектного срока эксплуатации конструкции и продолжительности расчетной ситуации.

3.51 холм: Форма рельефа в виде отдельного небольшого повышения (до 200 м) с невыраженной подошвой (основа холма).

3.52 шероховатость поверхности: Неровности подстилающей поверхности, включая растительный и снежный покров, здания и сооружения и другие факторы, оказывающие влияние на характер распространения воздушного потока.

3.53 эквивалентная толщина стенки гололеда b_z , мм: Толщина стенки гололедно-изморозевого отложения (3.6), приведенного к плотности 0,9 г/см³ и цилиндрической форме на элементах кругового сечения (проводах, тросах, оттяжках).

3.54 экспозиция склонов: Расположение склонов холмов и других элементов рельефа по отношению к сторонам света и плоскости горизонта, которое определяет подверженность данной местности воздействию ветра того или иного направления.

4 Общие положения

4.1 В соответствии с ГОСТ 27751 строительные конструкции и сооружения должны быть запроектированы с достаточной надежностью и безотказностью их работы, то есть способностью сохранять заданные эксплуатационные качества в течение установленного срока службы.

4.2 Воздушные линии соответственно должны проектироваться исходя из критериев обеспечения безотказной работы механической части ВЛ под влиянием внешних воздействий, в том числе климатических условий в районе прохождения трассы ВЛ за период ее эксплуатации, согласно таблице 4.1.

Таблица 4.1

Характеристика ВЛ	Уровень ответственности		
	I	II	III
Напряжение, кВ	330–750	Св. 1 до 220	До 1
Расчетный период эксплуатации, лет	50	50	30
Коэффициент надежности по ответственности γ_{nw} для расчета строительных конструкций	1,1–1,3	1	0,8–1,0
Примечание – Отнесение объекта к конкретному уровню ответственности может выполняться проектировщиком по согласованию с заказчиком.			

4.3 Расчетные значения природных воздействий (ветровых, гололедных и гололедно-ветровых) в общем случае определяется согласно ТКП EN 1990, [10] по выражению

$$F_p = \gamma_f F_k, \quad (4.1)$$

где F_k – характеристическое (нормативное) значение воздействия;

γ_f – общий коэффициент для воздействий, учитывающий возможность отклонений их значений от характеристических значений.

4.4 Климатические нагрузки на сооружения относятся к кратковременным, и их характеристические (нормативные) значения устанавливаются настоящим техническим кодексом по наибольшим годовым значениям, соответствующим определенному периоду их непревышения.

При наличии статистических данных расчетные значения нагрузок допускается определять по заданной вероятности их превышения по ГОСТ 27751.

4.5 Согласно ТКП 339 климатические нагрузки должны определяться с повторяемостью 1 раз в 25 лет (с вероятностью непревышения 0,96). Это означает, что климатическая нагрузка, имеющая повторяемость 1 раз в 25 лет, в среднем может повторяться каждые 25 лет. Вероятность непревышения 0,96 означает, что каждый год указанная климатическая нагрузка с вероятностью 0,96 (96 %) не будет превышена.

По требованию заказчика, исходя из уровня ответственности сооружения, может устанавливаться и более высокий период повторяемости, например, 1 раз в 50 лет.

4.6 Оценки степени риска и надежности принятых расчетных нагрузок (см. А.12) с требуемой вероятностью непревышения для различных сроков службы ВЛ приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Период повторяемости T , лет	Обеспеченность	Срок службы ВЛ, лет					
		30		40		50	
		Надежность	Степень риска	Надежность	Степень риска	Надежность	Степень риска
25	0,96	0,29	0,71	0,20	0,80	0,13	0,87
50	0,98	0,55	0,45	0,45	0,55	0,36	0,64

4.7 При построении карт климатического районирования, определении нормативных климатических нагрузок должны быть использованы данные инструментальных наблюдений за параметрами

ветра и гололедно-изморозевыми отложениями на действующих в Республике Беларусь МС с охватом не менее чем 30-летнего периода наблюдений (архивные метеоданные).

4.8 В соответствии с требованиями настоящего технического кодекса нормативные климатические нагрузки определяются по значениям скорости ветра (ветрового давления), толщине стенки гололеда, ветровой нагрузке при гололеде, скорости ветра при гололеде с вероятностью не превышения 0,96.

4.8.1 Для определения нормативных скоростей ветра должны использоваться архивные данные срочных наблюдений за направлением и скоростью ветра на МС по ветроизмерительным приборам. При этом должны использоваться метеоданные о скорости ветра с 10-минутным интервалом осреднения на высоте 10 м над поверхностью земли.

Для учета пиковых значений скорости ветра (порывов) следует использовать архивные метеоданные междусрочных наблюдений за скоростью ветра на МС.

4.8.2 Для определения нормативной толщины стенки гололеда используются архивные данные наблюдений МС за видом, размерами и весом гололедно-изморозевых отложений на гололедном станке.

4.8.3 Для расчета нормативной гололедно-ветровой нагрузки используются архивные данные наблюдений МС за видом и размерами гололедно-изморозевых отложений на гололедном станке и скоростью и направлением ветра при формировании этих отложений.

4.9 Данные наблюдений МС (скорость ветра, вес и размеры гололедно-изморозевых отложений, скорость и направление ветра при гололеде) должны быть приведены к однородному виду и к условной ВЛ.

4.10 В процессе обработки результатов метеонаблюдений должны учитываться особенности местности (пересеченный рельеф, высота над уровнем моря, наличие поблизости больших водоемов, степень облесенности и пр.), а также наличие зданий и инженерных сооружений.

4.11 При районировании территории по ветровой и гололедно-ветровой нагрузкам в зависимости от абсолютной и относительной высоты места, формы рельефа и экспозиции склона по отношению к ветровому (гололедонесущему) потоку определяются два основных типа рельефа:

тип I – плоская или пересеченная небольшими оврагами и балками местность с относительными превышениями не более 100 м – равнина;

тип II – сильно пересеченная местность с относительными превышениями более 100 м – возвышенность.

4.12 Для определения типов рельефа по карте физико-географического районирования Беларуси для всех районов следует установить относительное превышение высот. Те районы, где колебания высот не превышают 100 м, следует отнести к I типу рельефа, остальные – к II типу.

4.13 Для определения подтипа рельефа на гипсометрической карте в соответствующем масштабе строится схема распределения склонов по экспозиции. Выделенные экспозиции склонов в зависимости от направления ветрового (гололедонесущего) потока отнесены к следующим подтипам рельефа:

подтип 1 – наветренные склоны;

подтип 2 – подветренные склоны;

подтип 3 – вершины;

подтип 4 – открытые для ветрового (гололедонесущего) потока долины;

подтип 5 – закрытые от ветрового (гололедонесущего) потока долины.

На равнинной местности дополнительно к I типу рельефа выделены следующие подтипы рельефа:

– заболоченные равнины (части Полесской низменности). В зимний и переходные периоды на заболоченных пространствах выделяется большое количество влаги, что ведет к увеличению интенсивности гололедообразования;

– залесенные равнины, подтип рельефа, который учитывает увеличение шероховатости подстилающей поверхности из-за расположения отдельных массивов леса, чередования лугов и полей с участками леса, и вызванной этими особенностями территории уменьшение скорости ветра. При этом увеличение шероховатости поверхности за счет лесов влияет на скорость ветра сильнее, чем изменения атмосферного давления.

4.14 Микрорельеф на равнине и возвышенностях представлен холмами, долинами и балками. Его влияние должно учитываться специальными коэффициентами.

5 Расчет природных воздействий и нагрузок

5.1 Ветровые воздействия и нагрузки

5.1.1 Действие ветра на сооружения проявляется в виде динамической ветровой нагрузки и возбуждения колебаний конструкций.

Реакция сооружения на ветровую нагрузку может быть разной: жесткие конструкции воспринимают ее как статическую, реакция гибких конструкций зависит от частоты свободных (собственных) колебаний.

Для высоких сооружений ветровая нагрузка является основной; при расчете их на прочность и устойчивость к деформациям необходимы более детальные сведения о параметрах ветра в месте предполагаемого строительства.

5.1.2 Для расчета ветровых нагрузок настоящим техническим кодексом устанавливаются нормативные значения ветровых воздействий, которые следует определять на основе максимальных значений скорости ветра (ветрового давления) с годовой вероятностью непревышения 0,96, что соответствует среднему периоду повторяемости $T = 25$ лет.

5.1.3 При использовании в расчетах данных метеонаблюдений за ветром последние должны быть приведены к однородному виду в случаях:

- 1) переноса метеоплощадки;
- 2) изменения типа ветроизмерительного прибора;
- 3) изменения степени защищенности ветроизмерительного прибора;
- 4) изменения числа сроков наблюдений в сутки.

5.1.4 При определении нормативного значения скорости ветра V_N^T должны использоваться:

1) максимальное значение скорости ветра V_N^T по направлению (румбу r , $r = [1, 16]$) за n -й год, полученное на основе статистической обработки архивных метеоданных скоростей ветра за период наблюдений N , лет, $n = [1, N]$, на МС в срок и между сроками. Данные берутся в следующем объеме:

- а) данные о параметрах ветра (наблюдения по восьми срокам):
 - дата и время наблюдения, ч;
 - температура воздуха, °C;
 - направление ветра;
 - средняя скорость ветра, м/с;
- б) данные о параметрах ветра (наблюдения за сутки):
 - дата;
 - средняя температура воздуха за сутки, °C;
 - температура воздуха абсолютная максимальная, °C;
 - температура воздуха абсолютная минимальная, °C;
 - средняя скорость ветра за сутки, м/с;
 - максимальная скорость ветра за сутки из 8 сроков наблюдений, м/с;
 - абсолютный максимум скорости ветра за сутки, м/с;
- 2) нормированная высота над уровнем земли h , м, $h \geq 10$;
- 3) коэффициенты шероховатости местности, z_0 ;
- 4) коэффициенты орографии, c_0 .

5.1.5 Нормативное значение скорости ветра должно определяться по максимальной скорости ветра на уровне h , м, над поверхностью земли и соответствовать 10-минутному интервалу осреднения независимо от времени года и направления ветра для типа местности II (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Типы местности и параметры шероховатости

Тип местности		z_0 , м	k_{rel}
I	Озеро либо плоская горизонтальная местность с незначительной растительностью без преград	0,01	0,169
II	Открытая местность с низкой растительностью, такой как трава, либо с растительностью и изолированными отдельно стоящими преградами (деревьями, зданиями), расстояние между которыми составляет как минимум 20-кратное значение их высот (сельская местность)	0,05	0,189
III	Местность с равномерной растительностью или зданиями и другими преградами, расстояние между которыми не превышает 20-кратного значения их высот (сельские населенные пункты, пригородные зоны, протяженные лесные массивы)	0,3	0,214
IV	Территория, в пределах которых по крайней мере 15 % поверхности покрыто зданиями, средняя высота которых превышает 15 м (городские территории)	1,0	0,233

Примечание – Типы местности и параметры шероховатости приведены в ТКП EN 1991-1-4, [10].

Если тип местности по рассматриваемому направлению ветра отличается от типа II, осуществляется приведение значения скорости ветра с использованием коэффициентов таблицы 5.1, методов, изложенных в 5.1.5–5.1.9, и выражений (5.1) и (5.2).

5.1.6 Тип местности по ТКП EN 1991-1-4, [10] для заданного направления ветра зависит от шероховатости подстилающей поверхности участка местности с наветренной стороны сооружения. Участок должен иметь постоянную шероховатость в определенном угловом диапазоне относительно направления ветра; при этом небольшими площадями (менее 10 % от рассматриваемой) с отличающимися значениями шероховатости допускается пренебрегать (рисунок 5.1).

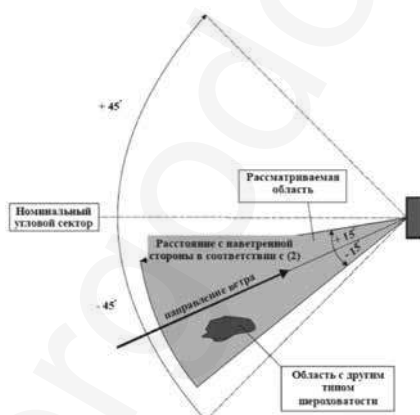


Рисунок 5.1 – Определение типа местности в зависимости от шероховатости

Длина участка принимается равной:

30h – при высоте сооружения h до 60 м;

2 км – при h > 60 м.

5.1.7 Коэффициент шероховатости z_0 и непосредственно связанный с ним коэффициент k_{rel} , учитывающий тип местности, характеризуют неравномерность ландшафта, которая влияет на скорость ветра V_h .

5.1.8 Коэффициент рельефа местности k_{rel} также рекомендуется рассчитывать для различных коэффициентов шероховатости z_0 по следующему выражению [10]:

$$k_{rel} = 0,189 \left(\frac{z_0}{0,05} \right)^{0,07}. \quad (5.1)$$

5.1.9 Скорость ветра $V_n^r(h)$, м/с, на нормированной высоте h над поверхностью земли, приведенная к условиям открытого места (тип местности II), определяется как

$$V_n^r(h) = V_n^r \cdot \frac{1}{\left[k_{rel} \ln \left(\frac{h}{z_0} \right) \right]}, \quad n \in N, \quad r = [1, 16]. \quad (5.2)$$

5.1.10 Максимальная годовая скорость ветра за n-й год наблюдений, по всем румбам определяется по соотношению

$$V_n^{\max} = \max_r V_n^r(h). \quad (5.3)$$

5.1.11 Нормативная скорость ветра V_N^T с повторяемостью один раз в T лет определяется по выражению

$$V_N^T = \bar{V}_N \cdot \left(1 + c_v \cdot \frac{y^T - C_2^N}{C_1^N} \right), \quad (5.4)$$

где $\bar{V}_N$ – среднее значение максимальной скорости ветра за весь период метеонаблюдений за ветром на МС (N), рассчитываемое по выражению (A.18);

c_v – коэффициент вариации, рассчитываемый по A.11;

y, C_1^N, C_2^N – параметры распределения, полученные по методике, приведенной в приложении А.

5.1.12 Пересчет скорости ветра для периода повторяемости T, лет, $T \neq 25$, при известной скорости ветра V_N^{25} для базового периода повторяемости (25 лет) рекомендуется осуществлять, используя коэффициент пересчета c_T , который находится по выражению

$$c_T = \frac{V_N^T}{V_N^{25}} = \left(\frac{1 - K_{sp} \ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right)}{1 - K_{sp} \ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{25} \right) \right)} \right)^n, \quad (5.5)$$

где K_{sp} – параметр, зависящий от коэффициента вариации распределения максимальных значений (5.6), рекомендуемое значение по ТКП EN 1991-1-4 – $K_{sp} = 0,2$;

n – экспонента, рекомендуемое значение по ТКП EN 1991-1-4 – $n = 0,5$.

Выражение (5.5) применительно к скорости ветра получено на основе распределения Гумбеля, описанного в приложении А настоящего технического кодекса.

Значение K_{sp} может быть определено следующим условиям:

- коэффициент вариации c_v ;
- длительность серии метеонаблюдений, лет;
- параметров C_1 и C_2 распределения Гумбеля в зависимости от длительности серии метеонаблюдений.

$$K_{sp} = \frac{c_v}{C_1 - C_2 c_v}. \quad (5.6)$$

При 30-летней длительности метеонаблюдений за ветром значения C_1 и C_2 могут быть определены по таблице A.1: $C_1 = 1,1124$; $C_2 = 0,5362$.

При коэффициенте вариации $c_v = 0,12$ и 30-летней длительности наблюдений K_{sp} принимается равным 0,114.

Таблица 5.2 – Коэффициенты пересчета для разных периодов повторяемости расчетной скорости ветра

Уровень ответственности	Период повторяемости T, лет	Коэффициент пересчета c_T	Вероятность превышения, %
I	50	1,237	98
II	25	1	96
	50	1,237	98
III	25	1	96

Примечание – Значения c_T для периодов повторяемости в 25, 50 лет получены при $K_{sp} = 0,114$ и базовом периоде в 25 лет.

5.1.13 При построении карт климатического районирования для случаев, когда орография повышает скорость ветра более чем на 5 %, это увеличение рекомендуется учитывать посредством применения орографического коэффициента c_0 согласно [3] таблица 5.3.

Влиянием орографии можно пренебречь, если средний уклон местности с наветренной стороны является небольшим (меньше 5°). В этом случае рекомендованным значением для коэффициента орографии является 1.

Участок с наветренной стороны может рассматриваться на расстоянии до 10-кратной нормированной высоты h элемента ВЛ над землей.

Приведение скорости V_N^T , м/с, к открытому ровному месту с учетом микрорельефа выполняется по выражению

$$V_c = V_N^T c_0, \quad (5.7)$$

где V_c – скорость ветра, м/с, приведенная к условиям открытого ровного места;

c_0 – коэффициент орографии, определяемый по таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Значения коэффициента учета микрорельефа c_0

Форма микрорельефа	Значение c_0
1. Вершины:	
а) $\Delta h \geq 50$ м	1,35
б) $\Delta h < 50$ м	1,25
2. Наветренные склоны:	
а) верх	1,3
б) середина	1,1
в) низ	0,95
3. Параллельные ветру склоны:	
а) верх	1,15
б) середина	0,9
в) низ	0,8
4. Подветренные склоны:	
а) верх	0,75
б) середина	0,9
в) низ	0,8
5. Дно долин, лощин, оврагов:	
а) продуваемых ветром	1,35
б) не продуваемых ветром	0,7 и менее
6. Возвышения с плоскими вершинами и пологими склонами, плато:	
а) вершины, верхняя часть наветренного и подветренного склонов	1,3
б) средняя и нижняя части наветренных и параллельных ветру склонов	1,2
в) средняя и нижняя части подветренных склонов	0,9

5.1.14 Нормативное ветровое давление w_p^h , Па, на нормированной высоте h над поверхностью земли определяется по выражению

$$w_p^h = \frac{1}{2} \rho V_c^2, \quad (5.9)$$

где ρ – плотность воздуха, зависящая от высоты над уровнем моря, температуры и барометрического давления и ожидаемая во время бури. Рекомендуемое значение $\rho = 1,25$ кг/м³ (ТКП EN 1991-1-4, п. 4.5).

5.1.15 Для районирования по ветру карта экспозиции склонов с учетом выделенных типов и подтипов рельефа в соответствии с 4.11–4.13 совмещается с гипсометрической картой (масштаб 1:500 000).

Для каждого типа рельефа на карту наносятся границы ветровых районов с учетом их абсолютной высоты над уровнем моря (таблица 5.4).

Влияние микрорельефа (4.14) учитывается в соответствии с 5.1.13.

Таблица 5.4 – Абсолютная высота над уровнем моря ветровых районов для различных типов рельефа

Тип рельефа	Абсолютная высота над уровнем моря ветровых районов, м			
	I	II	III	IV
1. Защищенные (залесенные) равнины	до 170 вкл.	свыше 170	–	–
2. Равнины	до 130 вкл.	св. 130 до 200 вкл.	св. 200 до 240	св. 240
3. Наветренные склоны, открытые долины	до 130 вкл.	св. 130 до 190 вкл.	св. 190 до 310 вкл.	св. 310
4. Подветренные склоны	до 210 вкл.	св. 210	–	–
5. Закрытые долины	до 190 вкл.	св. 190	–	–

Значения нормативных ветровых нагрузок для соответствующих районов по ветру принимаются по таблице 5.5.

В приложении Б приведена карта нормативных районов по ветру Республики Беларусь.

На карте районирования по ветру отмечаются четыре района:

IV район – частично на Минской, Новогрудской и Ошмянской возвышенностях;

III район – в сильно пересеченных местностях и на склонах Новогрудской возвышенности, на значительной части Минской возвышенности, частично на Оршанской, Витебской, Горецко-Мстиславской и Ошмянской возвышенностях, Копыльской и Мозырской грядах;

II район – на большей части Беларуси;

I район – на обширных участках Полоцкой и Полесской низменностей, в долинах рек Западная Двина, Неман, Виля, Днепр, Сож и Березина.

Больше всего подвержена ветровому воздействию центральная часть республики, которая является самой возвышенной.

Таблица 5.5 – Ветровые районы и соответствующие нормативные значения скорости ветра и ветрового давления

Ветровой район	Нормативная скорость ветра, м/с	Интервал скоростей, м/с	Ветровое давление, Па
I	25	до 25	400
II	29	26–29	500
III	32	30–32	650
IV	36	33–36	800

5.1.16 Нормативная ветровая нагрузка $P_{нл}$, Н/м, на линейные элементы ВЛ в результате воздействия ветра, направленного перпендикулярно рассматриваемому элементу, определяется как

$$P_{нл} = F \{ w_{пр}, \alpha_w, K_l, K_w, c_x \}, \quad (5.10)$$

где $w_{пр}$ – нормативное ветровое давление, определяемое по таблице 5.5, в зависимости от ветрового района согласно карте районирования территории Беларуси по ветровому давлению (приложение Б);

α_w – коэффициент, учитывающий неравномерность ветрового давления по пролету ВЛ;

K_l – коэффициент, учитывающий влияние длины пролета на ветровую нагрузку;

K_w – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте в зависимости от типа местности, который принимается по ТКП 339 (таблица 5.3.2);

c_x – коэффициент лобового сопротивления для рассматриваемого элемента.

Значения коэффициентов α_w , K_l , c_x принимаются по ТКП 339 (5.3.5.15).

Если линейный элемент конструкции находится под наклонным углом к направлению ветра, при расчете ветровой нагрузки это должно быть учтено как

$$P_{нл}(\varphi) = P_{нл} \cdot \sin^2 \varphi, \quad (5.11)$$

где φ – угол между направлением ветра и продольной осью элемента конструкции.

5.1.17 Нормативная ветровая нагрузка $P_{но}$, Н, на элементы конструкции опор ВЛ определяется по выражению

$$P_{\text{но}} = F \{ w_{\text{пр}}, K_w, c_x, A_x \}, \quad (5.12)$$

где $w_{\text{пр}}$ – нормативное ветровое давление, определяемое по таблице 5.5, в зависимости от ветрового района по карте районирования территории Беларуси по ветровому давлению (приложение Б);
 K_w – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте в зависимости от типа местности, который принимается по ТКП 339 (5.3.5.7);

c_x – аэродинамический коэффициент, определяемый с учетом особенностей конструкции опор ВЛ в соответствии с действующими требованиями к расчету ветровых воздействий на строительные конструкции (ТКП EN 1991-1-4);

A_x – площадь проекции, ограниченная контуром конструкции, ее части или элемента ВЛ, с наветренной стороны на плоскость, перпендикулярную ветровому потоку, вычисленная по наружному габариту, м^2 , и принимаемая по ТКП 339 (5.3.5.22).

5.1.18 Расчетные ветровые нагрузки на элементы конструкции и опоры ВЛ определяют согласно ТКП 339 (5.3.5).

5.2 Воздействия обледенения (гололедно-ветровые нагрузки)

5.2.1 Общие сведения об обледенении

5.2.1.1 Основные воздействия обледенения – это повышенные вертикальные нагрузки на обледеневшую конструкцию и повышенное лобовое сопротивление, вызываемое увеличением наветренной площади. Последнее может привести к большим, чем при отсутствии обледенения, ветровым нагрузкам согласно СТБ ISO 12494.

Метеорологические условия, а также физические свойства обледенения и его продолжительность определяют форму, размеры и вес гололедно-изморозевых отложений, образующихся на объекте.

Плотность отложений изменяется в широком диапазоне: низкая (зернистая изморозь), средняя (кристаллическая изморозь), высокая (гололед). Максимальная толщина стенки зависит в основном от таких факторов, как влажность, температура и длительность гололедообразования.

5.2.1.2 Типовые характеристики обледенения приведены в таблице 5.6, метеорологические параметры, определяющие обледенение, – в таблице 5.7.

Таблица 5.6

Тип обледенения	Плотность, кг/м^3	Налипание	Внешний вид		Целостность
			Цвет	Форма	
Гололед (ГЛ)	900	прочное	прозрачный	равномерно распределенная/сосульки	прочная
Мокрый снег (ОМС)	300–600	среднее	белый	равномерно распределенная/эксцентричная	средняя – прочная
Зернистая изморозь (ИЗ)	600–900	прочное	матовый	эксцентричная с наветренной стороны	очень прочная
Кристаллическая изморозь (ИК)	200–600	слабое – среднее	белый	эксцентричная с наветренной стороны	низкая – средняя

Примечание – Иней (продукт прямого перехода паров воды в лед) образуется при низких температурах. Он имеет низкую плотность и прочность и поэтому не оказывает существенного воздействия на конструкции.

Таблица 5.7

Тип обледенения	Метеорологические параметры, определяющие обледенение				
	Температура воздуха t , $^{\circ}\text{C}$	Средняя скорость ветра V , м/с	Размер капли	Влажность	Обычная длительность воздействия
Атмосферное или осадочное обледенение					
ГИ (ледяной дождь или морось)	$-10 < t < 0$	любая	большой	средняя	часы
ОМС	$0 < t < +3$	любая	хлопья	очень высокая	часы
Внутриоблачное обледенение					
ГИ	$-6 < t < 0$	$V = (-t + 1,75) 1,55^*$	средний	высокая	часы
ИЗ	$-15 < t < 0$		средний	средняя	дни
ИК	$-20 < t < -1$	$V = [(-t) \cdot 0,3 + 1,1] 1,85^{**}$	малый	низкая	дни

* Разделение между гололедом и кристаллической изморозью.
 ** Разделение между кристаллической и зернистой изморозью.

5.2.1.3 Обледенение зависит не только от параметров окружающей среды, но и от характеристик самого объекта, включая:

- размер (диаметр, ширина и т.д.);
- форму (плоская, с острыми краями, цилиндрическая, сферическая и т.д.);
- гибкость (жесткий/гибкий элемент при изгибании/скручивании и т.д.);
- ориентацию относительно направления ветра (угол падения);
- в определенной степени материал и структуру поверхности (окрашенная, стальная, бетонная, деревянная, пластиковая и т.д.).

5.2.1.4 Интенсивность обледенения может изменяться в зависимости от высоты сооружения над уровнем земли: в некоторых случаях обледенение на небольшой высоте может отсутствовать, тогда как на более высоких уровнях гололедная нагрузка будет значительной, и наоборот.

Примечание – На рисунке 5.2.1 (СТБ ISO 12494) приведена зависимость изменения массы льда от изменения высоты над уровнем земли (но не над уровнем моря). Коэффициент высоты (множитель) допускается применять для всех типов обледенения при отсутствии конкретных сведений для данной местности.

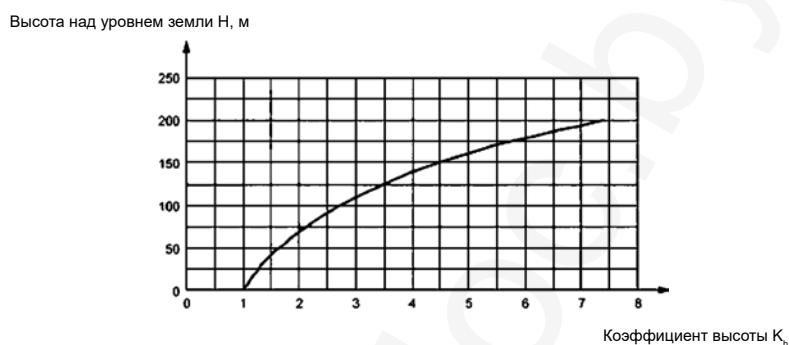


Рисунок 5.2.1 – Зависимость обледенения от высоты над уровнем земли

Примечание – Высотный коэффициент $K_n = e^{0.01H}$.

5.2.1.5 В одних и тех же метеорологических условиях интенсивность обледенения может изменяться в зависимости от ориентации объекта, подверженного обледенению, по отношению к воздействию ветра.

Наиболее сильное обледенение происходит на объектах, расположенных на плоскости, перпендикулярной направлению ветра, а также на объектах с малым поперечным сечением. При продолжительном обледенении размеры гололедно-изморозевых отложений на таких объектах будут почти одинаковыми.

Поэтому такие объекты, как провода, оттяжки, решетчатые конструкции и т.д., могут подвергаться более интенсивному обледенению, чем объекты больших размеров или конструкции сплошного типа. По этой же причине на крупных объектах обледенение будет концентрироваться на краях, острых кромках и т.д.

5.2.1.6 Неровности рельефа также оказывают влияние на условия обледенения, поэтому при определении ледовой нагрузки на конструкции должны учитываться следующие особенности местности:

- близость побережья водоема (с наветренной/подветренной стороны);
- высота над уровнем моря;
- наличие равнин, долин.

В долинах, где холодный воздух попадает в «ловушку», интенсивное обледенение под воздействием атмосферных осадков происходит чаще всего на дне долины, а не на окружающих склонах.

5.2.2 Гололедные нагрузки

5.2.2.1 Для расчета гололедных нагрузок настоящим техническим кодексом устанавливаются нормативные значения гололедных нагрузок, которые определяются для условной ВЛ на основе эквивалентной толщины стенки гололедно-изморозевых отложений цилиндрической формы, с плотностью $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$ и вероятностью превышения 0,04, что соответствует периоду повторяемости $T = 25$ лет.

5.2.2.2 При статистической обработке данных метеонаблюдений за гололедно-изморозевыми отложениями данные должны быть приведены к однородному виду в случаях переноса метеоплощадки и закрытости гололедного станка.

5.2.2.3 При определении нормативного значения толщины стенки гололедно-изморозевых отложений на условной ВЛ (b^3) должны использоваться:

1) максимальное значение толщины стенки отложения $b_s^n(m)$ по видам отложений m , $m \in \{\text{гололед, мокрый снег, кристаллическая изморозь, зернистая изморозь, сложные отложения}\}$, за n -й год, полученное на основе статистической обработки архивных метеоданных МС за период наблюдений N , лет, $n = [1, N]$, на гололедном станке в следующем объеме:

- дата наблюдения;
- вид отложения, его размер, мм, и масса, г;
- температура воздуха, °С, направление и скорость ветра, м/с, в начале формирования гололедно-изморозевого отложения;
- температура воздуха, направление и скорость ветра при достижении максимальных размеров отложения;

2) коэффициенты закрытости гололедного станка на МС, k_α ;

3) коэффициенты приведения к условной ВЛ.

5.2.2.4 Эквивалентная толщина стенки гололеда b'_s , мм, определяется по формуле [7]

$$b'_s = -\frac{d}{2} + \sqrt{0,35 \cdot m_r \cdot k_\alpha \cdot 10^3 + \frac{d^2}{4}}, \quad (5.13)$$

где d – диаметр провода гололедного станка, мм;

m_r – масса гололедно-изморозевого отложения с 1 пог. м провода, кг;

k_α – коэффициент закрытости, определяемый в зависимости от угла закрытости гололедного станка α по таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Коэффициенты закрытости гололедного станка

α	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k_α	1,0	1,0	1,1	1,2	1,2	1,4	1,7	2,2	3,5	4,1	4,2	4,1	3,6

α	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
k_α	3,3	3,1	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6

Примечание – Если экранирующий объект расположен на расстоянии более 300 м от гололедного станка, $k_\alpha = 1,0$.

5.2.2.5 Для определения условной толщины стенки гололеда b^3 , мм, эквивалентную толщину стенки гололеда b'_s , полученную по данным наблюдений на гололедном станке МС, следует привести к условной ВЛ, используя выражение [7]

$$b^3 = 1,05 + 1,325b'_s. \quad (5.14)$$

5.2.2.6 Максимальная годовая условная эквивалентная толщина стенки гололеда $b_n^{\max}$, мм, за n -й год наблюдений определяется по выражению

$$b_n^{\max} = \max_r b_n. \quad (5.15)$$

5.2.2.7 Нормативная толщина стенки гололеда с повторяемостью 1 раз в T лет b_N^T определяется по выражению

$$b_N^T = \bar{b}_N \cdot \left(1 + c_v \frac{y^T - C_2^N}{C_1^N} \right), \quad (5.16)$$

где $\bar{b}_N$ – среднее значение максимальной эквивалентной толщины стенки гололеда, мм, приведенной для условной ВЛ, за весь период метеонаблюдений за гололедом N , рассчитываемое по выражению (А.18);

c_v – коэффициент вариации, рассчитываемый в соответствии с А.11;

y^T, C_1^N, C_2^N – параметры распределения, полученные по методике, приведенной в приложении А.

5.2.2.8 При построении карт климатического районирования должно учитываться изменения толщины стенки гололеда для различных условий рельефа.

Приведение толщины стенки гололеда b_g , мм, к открытому ровному месту с учетом рельефа выполняется по выражению

$$b_g = b_N^T c_0^r, \quad (5.17)$$

где c_0^r – коэффициент, учитывающий влияние рельефа на толщину стенки гололеда, определяемый по таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Значение коэффициента учета рельефа c_0^r

Форма рельефа	Район по гололеду для МС на равнине	Значение коэффициента, учитывающего влияние рельефа на толщину стенки гололеда, c_0^r								
		Величина относительных высот местности Δh , м								
		0	10	20	30	40	50	60	70	80
1. Равнины	–	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–
2. Наветренные или параллельные ветру склоны, открытые долины	I–III	1,0	1,05	1,10	1,10	1,15	1,2	1,25	1,30	1,30
	IV	1,0	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40
3. Подветренные склоны, закрытые долины	I–II	0,9–1,0	–	–	–	–	–	–	–	–

5.2.2.9 Для районирования по гололеду карта экспозиции склонов по отношению к гололедонесущему потоку с учетом выделенных типов и подтипов рельефа в соответствии с 4.11–4.13 совмещается с гипсометрической картой (масштаб 1:500 000).

Для каждого типа рельефа на карту наносятся границы районов по гололеду с учетом их абсолютной высоты над уровнем моря (таблица 5.10).

Значения нормативной эквивалентной толщины стенки гололеда для соответствующих районов по гололеду принимаются по таблице 5.11.

Влияние рельефа учитывается в соответствии с 5.2.2.8.

Таблица 5.10 – Абсолютная высота над уровнем моря районов по гололеду для различных типов рельефа

Форма рельефа	Абсолютная высота над уровнем моря, м, районов по гололеду				
	I	II	III	IV	V
1. Заболоченные равнины	до 130	св. 130	–	–	–
2. Равнины	до 164	св. 164 до 204	св. 204	–	–
3. Наветренные склоны, возвышенности	до 197	св. 197 до 224	св. 224 до 250	св. 250 до 276	св. 276
4. Открытые долины	до 121	св. 121 до 136	св. 136	–	–
5. Подветренные склоны, закрытые долины	до 162	св. 162 до 220	св. 220 до 280	св. 280	–
6. Параллельные ветру склоны	до 160	св. 160 до 212	св. 212 до 264	св. 264	–

Таблица 5.11 – Районы по гололеду и соответствующие нормативные значения толщины стенки гололеда

Район по гололеду	Нормативная толщина стенки гололеда b_g , мм
I	10
II	15
III	20
IV	25
V	30

5.2.2.10 В приложении В приведена карта нормативных районов по гололеду Республики Беларусь.

На карте районирования по гололеду отмечаются пять районов:

V район – частично на Минской, Новогрудской и Ошмянской возвышенностях;

VI–III районы – в сильно пересеченных местностях и на склонах Новогрудской возвышенности, на значительной части Минской возвышенности, частично на Оршанской, Витебской, Городокской, Лукомльской и Ошмянской возвышенностях, Копыльской и Мозырской грядах;

II район – на приподнятом плато центральной части Беларуси, в долинах рек Припять, Днепр;

I район – на обширных участках Полоцкой и Полесской низменностей, в долинах рек Западная Двина, Неман, Виля, Днепр, Сож и Березина.

Больше всего подвержена гололедному воздействию центральная часть республики, которая является самой возвышенной.

5.2.2.11 Нормативная гололедная нагрузка $P_{нг}$, Н/м, на линейные элементы ВЛ (провода, тросы и элементы опор круглой формы) определяется как

$$P_{нг} = F \{b_3, d_n, k_h, k_d, \pi, \rho, g\}, \quad (5.18)$$

где b_3 – нормативное значение толщины стенки гололеда, определяемое по таблице 5.11, в зависимости от района по гололеду в соответствии с картой районирования территории Беларуси по гололеду (приложение Б);

d_n – диаметр провода, мм;

k_h, k_d – коэффициенты, учитывающие соответственно изменение толщины стенки гололеда в зависимости от высоты h , м, и от диаметра линейного элемента, принимаются по ТКП 339 (таблица 5.3.4);

π, ρ, g – постоянные, $\pi = 3,14$; $\rho = 0,9$ г/см³; $g = 9,8$ м/с².

5.2.2.12 Нормативная гололедная нагрузка $P_{но}$, Н, на конструкции опор ВЛ определяется по выражению

$$P_{но} = F \{P_{но}^y, k_h, A_0, g\}, \quad (5.19)$$

где $P_{но}^y = F \{\mu_r, b_3, \rho\}$ – масса гололедно-изморозевых отложений, кг, на 1 м² поверхности конструкции; μ_r – коэффициент, учитывающий отношение площади поверхности элемента, подвергшегося обледенению, к полной площади поверхности элемента, принимается по ТКП 339 (5.3.5);

b_3 – нормативное значение толщины стенки гололеда, определяемое по таблице 5.11, в зависимости от района по гололеду в соответствии с картой районирования территории Беларуси по гололеду (приложение Б);

k_h – коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки гололеда по высоте h , м, принимается по ТКП 339 (таблица 5.3.4);

A_0 – площадь общей поверхности элемента, м²;

ρ, g – постоянные, $\rho = 0,9$ г/см³; $g = 9,8$ м/с².

5.2.2.13 Расчетные гололедные нагрузки на элементы конструкции и опоры ВЛ определяют согласно ТКП 339 (5.3.5).

5.2.3 Ветровые нагрузки при гололеде

5.2.3.1 Воздействие ветра на элементы конструкции ВЛ, покрытые гололедно-изморозевыми отложениями, определяется скоростью ветра, при котором происходит обледенение, массой и формой отложения. В настоящем техническом кодексе используется подход, при котором рассматриваются все варианты комбинированного воздействия ветровых и гололедных нагрузок.

5.2.3.2 При статистической обработке данных метеонаблюдений за гололедно-ветровыми нагрузками эти данные должны быть приведены к однородному виду в случаях переноса метеоплощадки, закрытости гололедного станка, а также отличного от нормального угла направления гололедонесущего потока по отношению к проводу.

5.2.3.3 Для определения нормативного значения ветровой нагрузки при гололеде q_N^T должны использоваться:

1) максимальное значение толщины стенки отложения $b_{3n}(m)$ по видам отложений m , $m \in \{\text{гололед, мокрый снег, кристаллическая изморозь, зернистая изморозь, сложные отложения}\}$, за n -й год, полученное на основе статистической обработки архивных метеоданных МС за период наблюдений N , лет, $n = [1, N]$, за гололедно-изморозевыми отложениями на гололедном станке. Метеоданные используются в объеме согласно 5.2.2.3;

2) коэффициенты закрытости гололедного станка на МС, k_α ;

3) коэффициенты защищенности ветроизмерительных приборов, k_{rel} ;

4) коэффициенты, учитывающие изменение толщины стенки гололеда при отклонении направления ветра на угол φ от нормального, k_φ ;

5) коэффициенты приведения гололедных нагрузок к условной ВЛ.

5.2.3.4 При наличии данных о массе гололедно-изморозевого отложения с 1 пог. м провода m_r , кг, эквивалентная толщина стенки гололеда b'_{gr} , мм, определяется по формуле [5]

$$b'_{gr} = -\frac{d_n}{2} + \sqrt{0,35 \cdot m_r \cdot k_\alpha \cdot k_\phi \cdot 10^3 + \frac{d_n^2}{4}}, \quad (5.20)$$

где k_ϕ – коэффициент, определяемый по таблице 5.12.

Таблица 5.12

Направление ветра в начале обледенения	СВ, ЮВ, СЗ, ЮЗ	ВСВ, ССВ, ВЮВ, ЮЮВ, ЮЮЗ, ЗЮЗ, ЗСЗ, ССЗ
k_ϕ	1,82	1,33
Примечание – Для случаев отложения мокрого снега при скоростях ветра $V \leq 5$ м/с коэффициент $k_\phi = 1,0$.		

5.2.3.5 Вертикальная нагрузка от массы гололеда обычно вызывает наибольшие усилия в проводах, однако действует она не постоянно, а при неблагоприятных атмосферных условиях. Распределение гололеда по проводу не бывает строго равномерным, однако ввиду того, что учесть эту неравномерность не представляется возможным, такую нагрузку принимают равномерно распределенной по длине провода.

Погонная нагрузка на провод от веса гололеда для условной ВЛ p_r , даН/м, определяется в соответствии с [16] по формуле (21)

$$p_r = \pi b_{gr} (d_n + b_{gr}) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3}. \quad (5.21)$$

5.2.3.6 Ветровая погонная нагрузка на провод, покрытый гололедом, Q_r^r , даН/м, определяется в соответствии с [6] по формуле (1)

$$Q_r^r = c_x w_r (d_n + 2 \cdot b_{gr}) \cdot 10^{-3}, \quad (5.22)$$

где c_x – аэродинамический коэффициент, для проводов с гололедом принимаемый $c_x = 1,2$;

w_r – скоростной напор (давление) ветра, даН/м², определяемый по формуле (5.9);

b_{gr} – толщина стенки гололеда на проводе диаметром 10 мм, подвешенном на высоте 10 м над поверхностью земли, мм, рассчитываемая по формуле (5.14).

5.2.3.7 Максимальная годовая ветровая погонная нагрузка для условной ВЛ при гололеде $Q_n^{\max}$, даН/м, за n -й год наблюдений определяется по выражению

$$Q_n^{\max} = \max Q_n^r. \quad (5.23)$$

5.2.3.8 Нормативная ветровая погонная нагрузка при гололеде с повторяемостью 1 раз в T лет Q_N^T в соответствии с [10] по формуле (D.14), определяется как

$$Q_N^T = \bar{Q}_N \cdot \left(1 + c_v \frac{y^T - C_2^N}{C_1^N} \right), \quad (5.24)$$

где $\bar{Q}_N$ – среднее значение максимальной годовой ветровой погонной нагрузки при гололеде, даН/м, за весь период метеонаблюдений за гололедом N , рассчитываемое по выражению (A.18);

c_v – коэффициент вариации, рассчитываемый по A.11;

y^T, C_1^N, C_2^N – параметры распределения, полученные по методике, приведенной в приложении А.

5.2.3.9 Для районирования по ветровой погонной нагрузке при гололеде карта экспозиции склонов по отношению к гололедонесущему потоку с учетом выделенных типов и подтипов рельефа (4.11–4.13) совмещается с гипсометрической картой (масштаб 1:500 000).

Для каждого типа рельефа на карту наносятся границы районов по ветровой нагрузке при гололеде с учетом их абсолютной высоты над уровнем моря (таблица 5.13).

Таблица 5.13 – Абсолютная высота над уровнем моря районов по ветровой нагрузке при гололеде для различных типов рельефа

Форма рельефа	Абсолютная высота над уровнем моря (м) районов по гололеду				
	I	II	III	IV	V
1. Заболоченные равнины и открытые долины	до 130	св. 130	–	–	–
2. Равнины	до 154	св. 154 до 170	св. 170 до 205 вкл.	св. 205	–
3. Наветренные склоны, возвышенности	до 172	св. 172 до 190	св. 190 до 222	св. 222 до 271	св. 271
4. Подветренные склоны	до 126	св. 126 до 174	св. 174 до 268	св. 269	–
5. Закрытые долины	до 192	св. 192	–	–	–
6. Параллельные ветру склоны	до 180	св. 180 до 202	св. 202 до 248	св. 248 до 318	св. 318

5.2.3.10 Значения нормативных ветровых погонных нагрузок при гололеде для соответствующих районов принимаются по таблице 5.14.

Влияние рельефа учитывается в соответствии с 5.2.2.8.

Таблица 5.14 – Районы по ветровой нагрузке при гололеде

Район по ветровой нагрузке при гололеде	Ветровая погонная нагрузка при гололеде, Н/м
I	3,0
II	4,0
III	6,0
IV	9,0
V	13,0

5.2.3.11 В приложении Г приведена карта нормативных районов по гололедно-ветровой нагрузке территории Республики Беларусь.

На карте ветровых нагрузок при гололеде отмечаются пять районов:

V район – частично на Минской, Новогрудской и Ошмянской возвышенностях;

IV район – частично на Минской, Новогрудской и Ошмянской, а также на Городокской, Витебской, Оршанской и Горецко-Мстиславской возвышенностях, Свирской и Копыльской грядах;

III район – в сильно пересеченных местностях и на склонах Новогрудской возвышенности, на значительной части Минской возвышенности, частично на Оршанской, Витебской, Городокской, Лукомльской и Ошмянской возвышенностях, Копыльской и Мозырской грядах;

II район – в основном на приподнятом плато центральной части Беларуси;

I район – на обширных участках Полесской низменности, в долинах рек Западная Двина, Неман, Вилия, Днепр, Сож и Березина.

Больше всего подвержена гололедно-ветровому воздействию центральная часть республики, которая является самой возвышенной.

5.2.3.12 Нормативная ветровая нагрузка при гололеде $P_{нг}^w$, Н, на линейные элементы ВЛ (провода, тросы) определяется как

$$P_{нг}^w = F \{ w_{но}^r, K_w, c_x, A_x, \alpha_x, \sin^2 \varphi \}, \quad (5.25)$$

где $w_{но}^r$ – нормативное ветровое давление при гололеде, Па, определяемое в зависимости от ветрового района (давления ветра) при гололеде по карте районирования территории Беларуси по ветровому давлению (приложение Д) и таблице 5.15;

α_w – коэффициент, учитывающий неравномерность ветрового давления по пролету ВЛ, который принимается по ТКП 339 (5.3.5.15);

K_w – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте в зависимости от типа местности, который принимается по ТКП 339 (5.3.5.7);

c_x – аэродинамический коэффициент, для проводов, покрытых гололедом, принимаемый $c_x = 1,2$;

A_x – площадь продольного диаметрального сечения провода (троса), м², определяемая по выражению $A_x = F \{ d_n, k_i, k_d, b_y, L \}$, где b_y – условная толщина стенки гололеда, мм, которую рекомендуется определять по [6] и формуле (5.26), а L – длина ветрового пролета, м;

φ – угол между направлением ветра и продольной осью элемента.

Условная толщина стенки гололеда b_y , мм, для каждого района определяется по ветровой нагрузке при гололеде $Q_{нг}^w$ в соответствии с [6] по формуле (11),

$$b_y = \frac{Q_{нг}^w \cdot 10^3}{1,5 V_c^2} - \frac{d}{2}, \quad (5.26)$$

где $Q_{нг}^w$ – нормативная ветровая нагрузка при гололеде, Н/м, на линейные элементы ВЛ, определяемая по карте нормативных районов по гололедно-ветровой нагрузке (приложение Г) и таблице 5.14;

V_c – нормативная скорость ветра при гололеде, определяемая по нормативному ветровому давлению (таблица 5.15) для соответствующего района по ветру при гололеде (приложение Д) с использованием выражения (5.9).

Таблица 5.15 – Районы по ветровому давлению при гололеде

Район по ветру при гололеде	Ветровое давление при гололеде, Па
I	150
II	200
III	250
IV	300
V	350
VI	400
VII	500
VIII	650

5.2.3.13 Для районирования по ветровому давлению при гололеде карта экспозиции склонов по отношению к гололедонесущему потоку с учетом выделенных типов и подтипов рельефа совмещается с гипсометрической картой (масштаб 1:500 000).

Для каждого типа рельефа на карту наносятся границы районов по ветровому давлению при гололеде с учетом их абсолютной высоты над уровнем моря (таблица 5.16).

Таблица 5.16 – Абсолютная высота над уровнем моря районов по ветровому давлению при гололеде для различных типов рельефа

Форма рельефа	Абсолютная высота над уровнем моря, м, районов по гололеду							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1. Заболоченные равнины	до 130	св. 131 до 137	св. 138	–	–	–	–	–
2. Открытые долины	до 120	св. 120	–	–	–	–	–	–
3. Равнины	–	до 141	св. 142 до 160	св. 161 до 174	св. 175 до 189	св. 190 до 204	св. 205	–
4. Наветренные склоны, возвышенности	–	–	до 178	св. 179 до 194	св. 195 до 210	св. 211 до 226	св. 227 до 260	св. 261
5. Подветренные склоны	–	–	до 226	св. 227 до 292	св. 293	–	–	–
6. Закрытые долины	до 160	св. 161 до 180	св. 181	–	–	–	–	–

5.2.3.14 Значения нормативного ветрового давления при гололеде для соответствующих районов принимаются по таблице 5.15.

6 Рекомендации по применению карт климатического районирования

6.1 При проектировании ВЛ должны учитываться метеорологические условия в районе прохождения трассы ВЛ по ветру, гололеду и сочетанию ветра и гололеда.

6.2 Расчетные значения климатических нагрузок должны определяться с использованием коэффициентов, обеспечивающих требуемый уровень надежности сооружения, с учетом конструктивных

особенностей сооружения, его высоты над поверхностью земли и окружающего микрорельефа в соответствии с ТКП 339 (5.3.5).

6.3 При возникновении трудностей в определении климатического района по карте, например, в случае сближения нескольких районов по тому или иному климатическому показателю в районе трассы проектируемой ВЛ, рекомендуется применять район с более высокими значениями показателя.

При возможности уточнения климатических показателей карт на основе реальных физико-географических данных для участка намечаемого возведения (реконструкции) ВЛ следует использовать:

- данные таблиц 5.4, 5.10, 5.13, 5.16 – для определения климатического района по типу рельефа и отметкам высот трассы;
- данные таблиц 5.5, 5.11, 5.14, 5.15 – для нахождения нормативного значения климатического показателя (по ветру, гололеду, сочетанию ветра и гололеда);
- данные таблицы 5.3 – для учета особенностей микрорельефа трассы.

6.4 При расчете ветровых воздействий на конструкции и линейные элементы ВЛ должны использоваться нормативные климатические показатели по ветру в следующем порядке.

6.4.1 Ветровой район следует определять в районе прохождения трассы ВЛ по карте климатического районирования (приложение Б). При возможности учета микрорельефа трассы следует руководствоваться таблицей 5.3.

6.4.2 Нормативное ветровое давление, соответствующее 10-минутному интервалу осреднения скорости ветра на высоте 10 м над поверхностью земли, должно приниматься по таблице 5.5 в соответствии с районом по ветру.

Для ВЛ классов напряжения от 110 до 750 кВ нормативное ветровое давление рекомендуется принимать не менее 500 Па (то есть не ниже II района).

6.5 При расчете гололедных нагрузок на ВЛ и ее элементы используются климатические показатели по гололеду в следующем порядке.

6.5.1 Район по гололеду определяется по карте климатического районирования согласно приложению В.

6.5.2 Нормативную толщину стенки гололеда с плотностью 0,9 г/см³ на проводе диаметром 10 мм, расположенном на высоте 10 м над поверхностью земли, следует принимать по таблице 5.11 в соответствии с районом по гололеду.

Для ВЛ классов напряжения от 330 до 750 кВ нормативную толщину стенки гололеда принимают не менее 15 мм (то есть не ниже II района).

Для учета влияния рельефа на толщину стенки гололеда, используются коэффициенты таблицы 5.9.

6.5.3 Гололедную нагрузку на гирлянды изоляторов для ВЛ для II района по гололеду допускается не рассчитывать. Для III–V районов расчетную гололедную нагрузку на гирлянды изоляторов рекомендуется принимать равной половине веса гирлянды изоляторов [16].

6.5.4 При выборе трасс ВЛ следует, как правило, избегать территорий с большими отложениями гололеда.

6.6 При расчете гололедно-ветровых нагрузок на ВЛ следует использовать нормативные климатические показатели сочетания гололеда с ветром в следующем порядке.

6.6.1 Следует определить район по ветровой нагрузке при гололеде по соответствующей карте районирования (приложение Г) и таблице 5.14.

6.6.2 Нормативную ветровую нагрузку при гололеде на провод (трос) диаметром 10 мм для высоты 10 м над поверхностью земли находят по таблице 5.14 в соответствии с районом по ветровой нагрузке при гололеде.

Для ВЛ классов напряжения от 110 до 750 кВ нормативную ветровую нагрузку при гололеде необходимо принимать не менее 6 Н/м (то есть не ниже III района).

Нормативную скорость ветра при гололеде определяют по нормативному ветровому давлению (приложение Д) и по таблице 5.15 для соответствующего района по ветру при гололеде, руководствуясь формулой (5.9).

Условная толщина стенки гололеда для каждого района по ветру при гололеде определяется по выражению (5.26).

Приложение А (обязательное)

Методики обработки метеоданных

А.1 По данным наблюдений МС составляются ряды максимальных годовых величин климатических характеристик и рассчитываются эмпирические интегральные функции распределения вероятностей.

В практике метеорологических исследований для аппроксимации эмпирических функций распределения экстремальных значений метеорологических явлений рекомендуется применять следующие типы распределений [3]:

1) первое предельное распределение Гумбеля

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}, \quad (A.1)$$

2) второе предельное распределение Фишера–Типпетта

$$F(x) = e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\gamma}, \quad (A.2)$$

3) предельное распределение Вейбулла

$$F(x) = e^{-\left(\frac{x-c}{\alpha}\right)^b}, \quad (A.3)$$

4) двухэкспоненциальное трехпараметрическое распределение

$$F(x) = e^{-Ae^{\left(\frac{x}{\beta}\right)^\gamma}}, \quad (A.4)$$

где $F(x)$ – вероятность непревышения данной величины,

x – климатическая нагрузка,

$A, b, \alpha, \beta, \gamma$ – параметры распределения.

А.2 Ранее в методиках для аппроксимации эмпирических рядов рекомендовали использовать второе предельное распределение [6]. Однако позже в [11] было установлено, что второе распределение в области вероятностей 0,98–0,998 значительно завышает величины климатических характеристик, а третье распределение – занижает их.

А.3 Ряды величин климатических характеристик достаточно надежно аппроксимируются первым распределением, поэтому его следует применять при аппроксимации эмпирических кривых распределения для вероятностей 0,96 и выше. В случаях, когда эмпирические кривые распределения годовых максимумов величин метеонаблюдений природных явлений недостаточно хорошо аппроксимируются первым предельным распределением (наблюдаются значительные отклонения эмпирических точек кривой распределения от теоретической кривой), допускается для аппроксимации эмпирических кривых использовать другие распределения.

А.4 Распределение накопленных вероятностей в выражении А.1 может быть представлено как

$$F_1(x) = e^{-e^{-y}}, \quad (A.5)$$

где $F_1(x)$ – вероятность непревышения данной величины, т.е. вероятность того, что максимальное значение x_i в течение любого года будет меньше выбранного значения x .

Параметры распределения определяются на основании статистических параметров рядов метеонаблюдений:

$$y = \alpha(x - \beta), \quad (A.6)$$

$$\alpha = \frac{C_1}{\sigma}, \quad (A.7)$$

$$\beta = \bar{x} - \frac{C_2}{\alpha}, \quad (A.8)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (\text{A.9})$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (\text{A.10})$$

$$c_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}, \quad (\text{A.11})$$

где $\bar{x}$, σ – соответственно среднее значение и стандартное отклонение максимальных значений x_i ;
 c_v – коэффициент вариации.

A.5 Пусть приведенные к однородному виду максимальные годовые величины климатических характеристик составляют ряд наблюдений на метеостанции А ($x_1^A, \dots, x_N^A$) за период N, лет. Для построения интегральной функции распределения значения этого ряда ранжируют в порядке возрастания как $x_{\min}, \dots, x_m, \dots, x_{\max}$. Для каждого значения величины x вычисляется ее обеспеченность по формуле

$$P(x) = \frac{m}{n+1} \cdot 100 \%, \quad (\text{A.12})$$

где m – порядковый номер членов ряда;
 n – общее число членов ряда.

A.6 Определяются статистические параметры ряда наблюдений:

- выборочное среднее значение климатической характеристики (A.9);
- выборочное среднеквадратическое отклонение согласно формуле (A.10);
- коэффициент вариации c_v (A.11).

При этом продолжительность ряда должна быть не менее 30 лет.

A.7 Параметры C_1 и C_2 в формулах (A.7) и (A.8), которые зависят от длительности серии наблюдений, задаваемой переменной N, приведены в таблице A.1.

Таблица A.1

Длительность серии наблюдений, N	C_1	C_2
30	1,1124	0,5362
50	1,16066	0,54854
100	1,2065	0,5600
∞	1,28255	0,57722
Примечание – Параметры C_1 и C_2 для серии наблюдений длительностью ∞ соответствуют идеальному распределению Гумбеля.		

A.8 Вероятность того, что максимальное значение x_i превысит установленное значение x в любом году, определяется как

$$F(x) = 1 - F_1(x). \quad (\text{A.13})$$

A.9 Период повторяемости T , лет, является величиной, обратной $F(x)$, и обозначается как $T(x)$, чтобы подчеркнуть зависимость T от выбранного значения x :

$$T(x) = \frac{1}{1 - F(x)}. \quad (\text{A.14})$$

С учетом выражений (A.5), (A.13) и (A.14) получаем

$$\frac{1}{T} = 1 - e^{-y} \quad \text{либо} \quad y = -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right). \quad (\text{A.15})$$

Как следует из (A.15), параметр y зависит только от периода повторяемости T и не зависит от x и σ .

Соответствующие значения периода повторяемости T , вероятности превышения F и параметра y приведены в таблице A.2.

Таблица А.2

Период повторяемости Т, лет	Вероятность превышения F	Параметр у
25	0,04	3,1985
50	0,02	3,9019
100	0,01	4,6001

А.10 Выражение (А.6) приведем в другом, удобном для расчетов виде:

$$x = \beta + \frac{y}{\alpha}. \quad (\text{А.16})$$

Используя выражения (А.7) и (А.8), получим

$$x = \bar{x} - \frac{\sigma}{C_1}(C_2 - y). \quad (\text{А.17})$$

Учитывая то, что $y > C_2$, и выражение (А.11), получим удобную для вычислений формулу

$$x = \bar{x} \left(1 + c_v \frac{y - C_2}{C_1} \right). \quad (\text{А.18})$$

А.11 Коэффициенты C_1 и C_2 могут быть взяты из таблицы (А.1) или получены расчетным путем, как приведено ниже.

А.11.1 За период метеонаблюдений N , лет, может быть рассчитано n значений x^N , пронумерованных от 1 до N .

$$x_i^N = -\ln \left(-\ln \frac{i}{n+1} \right), \quad i = \overline{1, N}. \quad (\text{А.19})$$

Среднее из этих значений x^N определяется по выражению

$$\bar{x}^N = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^N, \quad C_2 = \bar{x}^N. \quad (\text{А.20})$$

Стандартное отклонение и параметр C_1 находятся из выражения

$$\sigma^N = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i^N - \bar{x}^N)^2}, \quad C_1 = \sigma^N \quad (\text{А.21})$$

или, в упрощенном виде,

$$\sigma^N = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i^N)^2 - (\bar{x}^N)^2}. \quad (\text{А.22})$$

А.11.2 При $N \rightarrow \infty$ $C_1 \rightarrow \pi\sqrt{6} = 1,282549$, а $C_2 \rightarrow 0,577216$ зависимость между характеристическим значением климатической нагрузки с периодом повторяемости в 50 лет и ее значением для среднего периода повторяемости в n лет согласно ТКП EN 1991-1-3 будет определяться как

$$C_\infty = \left\{ \frac{1 - c_v \frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{n} \right) \right) \right] + 0,577216}{1 + 2,5923 \cdot c_v} \right\}. \quad (\text{А.23})$$

А.12 Появление нагрузок, превышающих принятые расчетные нагрузки, возможно в любой год в течение эксплуатации ВЛ. Для оценки надежности и степени риска природных нагрузок используются следующие показатели:

- 1) $f = 1 - 1/T$ – вероятность того, что в течение года нагрузка не превысит расчетную величину;
- 2) $f_n = (1 - 1/T)^{n_T}$ – надежность принятых расчетных нагрузок ВЛ (вероятность того, что ни в одном году за период n_T лет нагрузка не превысит заданную величину);
- 3) $R = 1 - (1 - 1/T)^{n_T}$ – степень риска принятых расчетных нагрузок (вероятность того, что нагрузка будет больше заданной величины хотя бы один раз за n_T лет).

Алфавитный указатель административных районов (по областям)

Брестская

Барановичский 12, 13
Березовский 12, 18, 19
Брестский 18
Ганцевичский 13
Дрогичинский 19
Жабинковский 18
Ивановский 19
Ивацевичский 12, 13, 19
Каменецкий 11, 18
Кобринский 18, 19
Лунинецкий 13, 20, 21
Ляховичский 12, 13
Малоритский 18
Пинский 19, 20
Пружанский 11, 12, 18, 19
Столинский 20

Витебская

Бешенковичский 3, 9
Браславский 1
Верхнедвинский 2
Витебский 3
Глубокский 2
Городокский 3, 4
Докшицкий 7, 8
Дубровенский 9, 10
Лепельский 2, 8
Лиозненский 3, 4, 9, 10
Миорский 1
Оршанский 9
Полоцкий 2, 3
Поставский 1
Россонский 2, 3
Сенненский 9
Толочинский 9
Ушачский 2, 8
Чашникский 8, 9
Шарковщинский 1
Шумилинский 3

Гомельская

Брагинский 22, 23
Буда-Кошелевский 15, 16

Ветковский 16
Гомельский 16, 23
Добрушский 16, 23
Ельский 21, 22
Житковичский 20, 21
Жлобинский 15
Калинковичский 21, 22
Кормянский 16
Лельчицкий 20, 21
Лоевский 22, 23
Мозырский 21, 22
Наровлянский 22
Октябрьский 14, 15
Петриковский 14, 21
Речицкий 15, 22, 23
Рогачевский 15, 16
Светлогорский 15, 22
Хойникский 22
Чечерский 16

Гродненская

Берестовицкий 11
Волковысский 11, 12
Вороновский 6
Гродненский 5, 11
Дятловский 12
Зельвенский 12
Ивьевский 6, 7
Кореличский 12, 13
Лидский 6, 12
Мостовский 11, 12
Новогрудский 6, 7, 12, 13
Островецкий 6, 7
Ошмянский 6, 7
Свислочский 11, 12
Слонимский 12
Сморгонский 7
Щучинский 12

Минская

Березинский 8, 9, 14, 15
Борисовский 8
Вилейский 7, 8
Воложинский 6, 7

Дзержинский 7, 13
Клецкий 13
Копыльский 13
Крупский 8, 9
Логойский 7, 8
Любанский 14
Минский 7, 8, 13, 14
Молодечненский 7
Мядельский 7
Несвижский 13
Пуховичский 14
Слуцкий 13, 14
Смолевичский 8
Солигорский 13, 14
Стародорожский 14
Столбцовский 7, 13
Узденский 13, 14
Червенский 8, 14

Могилевская

Белыничский 9, 15
Бобруйский 14, 15
Быховский 15, 16
Глусский 14
Горецкий 9, 10
Дрибинский 10
Кировский 15
Климовичский 10, 16, 17
Кличевский 14, 15
Костюковичский 16, 17
Краснопольский 16
Кричевский 10, 16
Круглянский 9
Могилевский 9, 10, 15
Мстиславский 10
Осиповичский 14, 15
Славгородский 16
Хотимский 17
Чаусский 10, 16
Чериковский 10, 16
Шкловский 9, 10

Библиография

- [1] Закон Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации» от 5 января 2004 г. № 262-З
- [2] СТО 56947007-29.240.01.189-2014 Методические указания по применению альбомов карт климатического районирования территории по субъектам РФ
Утвержден приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 03.10.2014 № 444
- [3] СТО 56947007-29.240.055-2010 Методические указания по расчету климатических нагрузок в соответствии с ПУЭ-7 и построению карт климатического районирования
Утвержден приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 10.09.2010 № 667
- [4] СТО 56947007-29.240.056-2010 Методические указания по определению региональных коэффициентов при расчете климатических нагрузок
Утвержден приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 08.09.2010 № 663
- [5] СТО 56947007-29.240.057-2010 Методические указания по определению климатических нагрузок на ВЛ с учетом ее длины
Утвержден приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 08.09.2010 № 664
- [6] Арх. № 10844-02-т1 Разработка региональной карты расчетных гололедно-ветровых нагрузок на территории Белорусской ССР
Утвержден главным инженером Белорусского отделения института «Энергосетьпроект» Л.С. Горошко 23.08.1990
- [7] Арх. № 5744/1-02-т1 Разработка региональной карты гололедных районов на территории Белорусской ССР для проектирования и эксплуатации линий электропередачи
Утвержден директором НИИПИ ГП «Белэнергосетьпроект» Е.В. Щуром 27.12.1999
- [8] IEC 60826:2017 Design criteria of overhead transmission lines
(Критерии проектирования воздушных линий электропередачи)
- [9] IEC/TS 61774:1997 Overhead lines – Meteorological data for assessing climatic loads
(Линии электропередач воздушные. Метеорологические данные для расчета климатических нагрузок)
- [10] EN 50341-1:2012 Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV – Part 1: General requirements – Common specifications
(Воздушные линии электропередачи переменного тока свыше 1 кВ. Часть 1. Общие требования. Общие технические условия)
- [11] Луговой, В.А., Тимашова, Л.В., Черешнюк, С.В. Определение климатических нагрузок на воздушные линии. Современный подход // Новости электротехники. – 2006. – № 3 (39)
- [12] РД 52.04.720-2009 Положение о реперных климатических станциях
Утвержден руководителем Росгидромета 29.09.2009
- [13] Правила улаштування електроустановок. Розділ 2. Передавання електроенергії
Затверджені наказом Мінпаливенерго України від 05.01.2006 № 3

(Правила устройства электроустановок. Раздел 2. Передача электроэнергии
Утверждены приказом Минтопливэнерго Украины от 05.01.2006 № 3)
- [14] СО 153-34.20.361 (РД 34.20.361) Инструкция по производству наблюдений над обледенением проводов и сильным ветром на гололедных постах (Решение № 266)
Утвержден Главтехуправлением Минэнерго СССР 12.07.1971
- [15] СТО 56947007-29.240.55.113-2012 Методические указания по применению сигнализаторов гололеда (СГ) и прогнозированию гололедоопасной обстановки
Утвержден приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 27.01.2012 № 44
- [16] СТО 70238424.29.240.20.003-2011 Воздушные линии напряжением 35–750 кВ. Условия создания. Нормы и требования
Утвержден приказом НП «Инвэл» от 01.11.2011 № 109/4

Ответственный за выпуск *Моисеева Е.Н.*
Технический редактор *Яценко О.А.*
Корректор *Лемехова Д.Д.*

Подписано в печать 17.02.2020. Формат бумаги 60×84/4. Бумага офсетная. Печать цифровая. Гарнитура Arial.
Усл. печ. л. 23,36. Уч.-изд. л. 97,78. Тираж 00. Заказ 00.

Открытое акционерное общество «Экономэнерго».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/354 от 06.06.2014.
Ул. Сухая, 3, 220004, г. Минск.

Филиал «Информационно-издательский центр» ОАО «Экономэнерго».
Ул. Захарова, 59, 220088, г. Минск. Тел./факс: (017) 293-46-82.

Отпечатано в типографии Государственного предприятия «СтройМедиаПроект».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 2/42 от 13.02.2014.
Ул. В.Хоружей, 13/61, 220123, г. Минск.