



Гололедные, гололедно-ветровые нагрузки

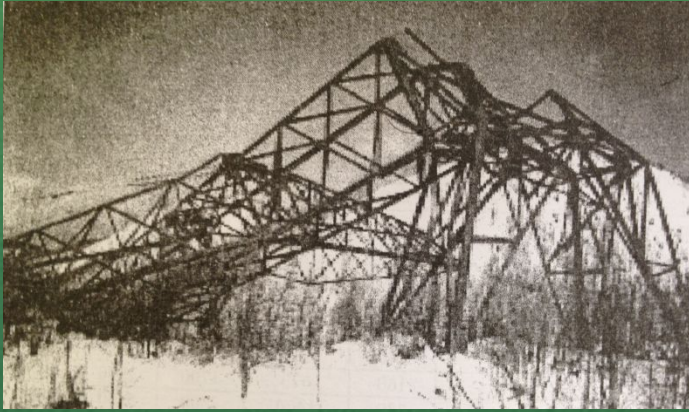
Фасолько Динара Викторовна
fasolechka9107@mail.ru

Гололедная нагрузка возникает вследствие осаждения того или иного вида гололедного отложения, в результате чего появляется дополнительная нагрузка на сооружение. **Климатическим параметром** является нагрузка на провод диаметром 10 мм и высотой подвеса 10 м. Наблюдения за отложением проводятся на гололедном станке, где диаметр провода составляет 5 мм., высота повеса 2 м



Гололедные и гололедно-ветровые нагрузки учитываются при проектировании и эксплуатации линий электропередачи и линий связи, а также различных ажурных сооружений. Выделяют **гололедную нагрузку** (массу отложения), **ветровую нагрузку при гололеде** и **гололедно-ветровую** (результатирующую) нагрузку.

Под весом гололедных отложений провода скручиваются, вибрируют (начинается «пляска»), что уменьшает прочность проводов и может приводить к обрыву ЛЭП. Поэтому при проектировании ЛЭП очень важно верно оценить величину гололедных нагрузок. Если недооценить, то это приведет к авариям и затратам на восстановление. Если же переоценить, то затраты на постройку будут неоправданно дорогостоящими, что не выгодно с экономической точки зрения.



Гололедные отложения на ЛЭП наблюдаются практически на всей территории России. В зависимости от местоположения, они бывают различного вида и интенсивности.

Одним из наиболее опасных районов является Сахалинская область.

Осенью 1989 года на о. Сахалин произошла масштабная катастрофа (рис. 3), когда вследствие гололедных и ветровых воздействий было разрушено свыше 80% магистральных ЛЭП высокого напряжения. Исследования катастрофы показали, что ЛЭП были спроектированы и построены с недооценкой климатических нагрузок. В процессе восстановления линий электропередачи была произведена реконструкция и механическое усиление с учетом уточнения гололедного района



В декабре 2010 года в Москве на участке в 1,5 км произошло обрушение пяти опор линий электропередач. Из-за сильного обледенения металл не выдержал и опоры наклонились.



Зимой 2001 года в Сочи сложилась чрезвычайная ситуация в связи с энергообеспечением. Обледенение проводов привело к повреждению 2,5 тысяч км воздушных линий электропередач напряжением до 220 кВ, в результате чего большинство районов города остались без света, тепла и воды. Работы по восстановлению ЛЭП осложнялись плохими погодными условиями и тем, что обрывы произошли в труднодоступных горных районах.

Основные определения

Эквивалентная толщина стенки гололеда мм-толщина стенки гололедно-изморозевого отложения, приведенного к плотности $0,9 \text{ г/см}^3$ и цилиндрической форме на элементах кругового сечения (тросах, проводах, канатах). Применяется для определения весовой нагрузки от гололеда.

Условия стандартной ВЛ-ВЛ с проводами диаметром 10 мм, подвешенными на высоте 10 м. над поверхностью земли.

Условная толщина стенки гололеда мм-толщина стенки условного гололедно-изморозевого отложения, на проводе диаметром 10 мм, подвешенном на высоте 10 м над поверхностью земли, вычисляемая для каждого района по ветровой нагрузке при гололеде по принятым нормативным значениям ветровой нагрузки при гололеде и скоростям ветра при гололеде. Применяется для определения на ВЛ ветровой нагрузки при гололеде.

Гололедная нагрузка: вес гололедно-изморозевого отложения на проводах, тросах и конструкциях опор.

Ветровая нагрузка при гололеде: величина давления ветра на обледенелый провод или конструкцию ВЛ.

Данными для определения гололедно-ветровых нагрузок являются вид, размеры и масса гололедно-изморозевых отложений, замеренные на гололедном станке, направление и скорость ветра в начале обледенения и максимальная скорость и направление ветра за случай обледенения.

Данные для расчета этих нагрузок помещены в таблицах **ТМ-5** и в **«Метеорологических ежемесячниках»** в таблице «Данные наблюдений за гололедно – изморозевыми отложениями».

Порядок расчета гололедной нагрузки :

1. За каждый зимний сезон выбираются все случаи обледенения. В том случае, когда вес отложения не рассчитывался, а имеются только размеры отложения (большой и малый диаметры a и c), то вес отложения рассчитывается по формуле

$$P = \gamma * 78 * (a * c - \frac{d^2}{4})$$

где a и c большой и малый диаметры отложения соответственно, включая диаметр провода, ($d=0,5$ см.), γ - плотность отложения, г/см

При наличии сведений только о большом диаметре отложения a , малый диаметр отложения c , принимается равным:

при гололеде $c = 0,6a$;

при других видах отложения $c=0,75a$.

Средние плотности отложений (г/см³)

гололед	Зернистая изморозь	Кристаллическая изморозь	Смешанное отложение	Мокрый снег
0.75	0.10	0.05	0.20	0.20

Коэффициент закрытости K_d

Гололедный станок метеостанции может быть закрыт различными объектами (изгородью метеоплощадки, строениями, древесной растительностью), что может значительно снизить размеры (a и c) и массу отложения на его проводах. Для приведения измерений гололедно-изморозевых отложений к условиям «открытой» местности необходимо использовать поправочные коэффициенты на закрытость гололедного станка, которые зависят от угла закрытости α

$$K_d = 1.0998e^{0.062\alpha}$$

Где α – угол закрытости

$$\alpha = \arctg \frac{h - h_r}{L + \Delta l}$$

Где h – высота экранирующего объекта (м)

h_r – высота гололедного станка

L – расстояние от экранирующего объекта до границы метеоплощадки

Δl – расстояние от гололедного станка до границы метеоплощадки

См. методические указания по расчету климатических нагрузок в соответствии с ПУЭ-7 и построению карт климатического районирования

Коэффициент K_j

Вес отложения на проводе гололедного станка зависит также от угла j между направлением ветра и проводом

Направление ветра в начале обледенения	СВ, ЮВ, СЗ, ЮЗ	ВСВ, ССВ, ВЮВ, ЮЮВ, ЮЮЗ, ЗЮЗ, ЗСЗ, ССЗ
K_j	1,82	1,33

Для случаев отложения мокрого снега при скоростях ветра равных или меньше 5 м/с коэффициент равен 1,0.

2. Вес отложения, измеренный на проводе гололедного станка пересчитывается на провод диаметром 10 мм и высотой подвеса 10 м. с помощью коэффициента $KPdh$.

Коэффициент для перевода значений гололедного станка к параметрам ЛЭП (10 м, 10 мм)

Масса отложения (P), г	< 100	100-150	151-300	301-450	451-600	>600
	3.4	2.9	2.6	2.2	2.2	1.5

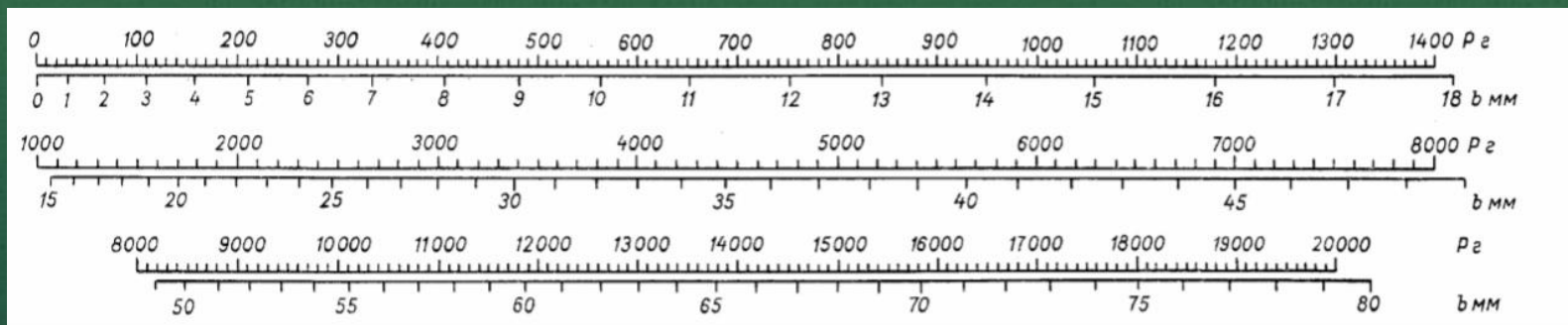
Масса отложения на проводе диаметром 10 мм и высотой подвеса 10 м (P_{\max}) равна:

$$M = P \times L \times S \times \rho$$

За каждый сезон выбираем максимальный вес отложения P_{\max}

На практике вместо массы гололеда используется стенка гололеда, имеющего форму цилиндра, плотность $0,9 \text{ г/см}^3$ на проводе, диаметр которого равен 10 мм и высота подвеса 10 м . Зависимость толщины стенки гололеда от массы (веса) отложения P определяется формулой

$$b = \sqrt{\frac{P}{\rho \times \pi \times \frac{d^2}{4} \times h}} \times 1000 \text{ (мм)}$$



Номограмма для определения толщины нормативной стенки гололеда

Изменение толщины стенки гололеда с высотой принимается по таблице

Высота над поверхностью земли, м	5	10	20	30	50	70	100
Коэффициент к	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0

Коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки гололеда в зависимости от диаметра элементов кругового сечения принимается по табл.

Диаметр провода, мм	5	10	20	30	50	70
Коэффициент k_1	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6

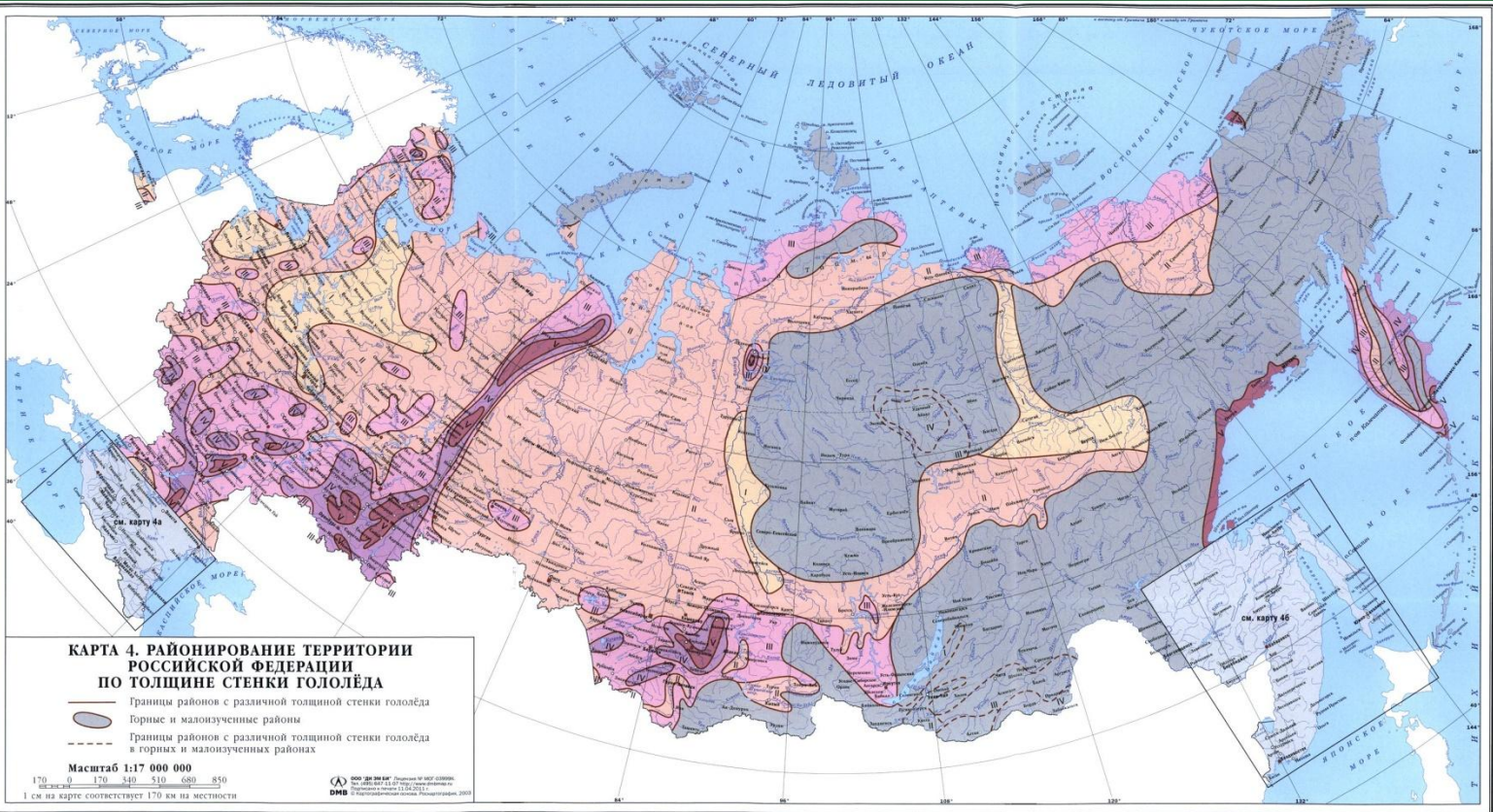
Для расчета условной толщины стенки гололеда используется формула

$$s_{\text{услов}} = \frac{s_{\text{услов}}}{0.075 \cdot k_1 \cdot k \cdot d^2} - 5$$

Условная толщина стенки гололеда-толщина стенки условного гололедно-изморозевого отложения, на проводе диаметром 10 мм, подвешенного на высоте 10 м над поверхностью земли, вычисляемая для каждого района по ветровой нагрузке при гололеде и скоростям ветра при гололеде. Применяется для определения на ВЛ ветровой нагрузки при гололеде

В СНиП «Нагрузки и воздействия» приведена карта районирования территории России по толщине стенки гололеда

Гололедные районы	I	II	III	IV	V
Толщина стенки гололеда b , мм (превышаемая один раз в 5 лет)	Не менее 3	5	10	15	Не менее 20



Нормативную толщину стенки гололеда b_z плотностью $0,9 \text{ г/см}^3$ следует принимать по табл. в соответствии с картой районирования территории России по толщине стенки гололеда

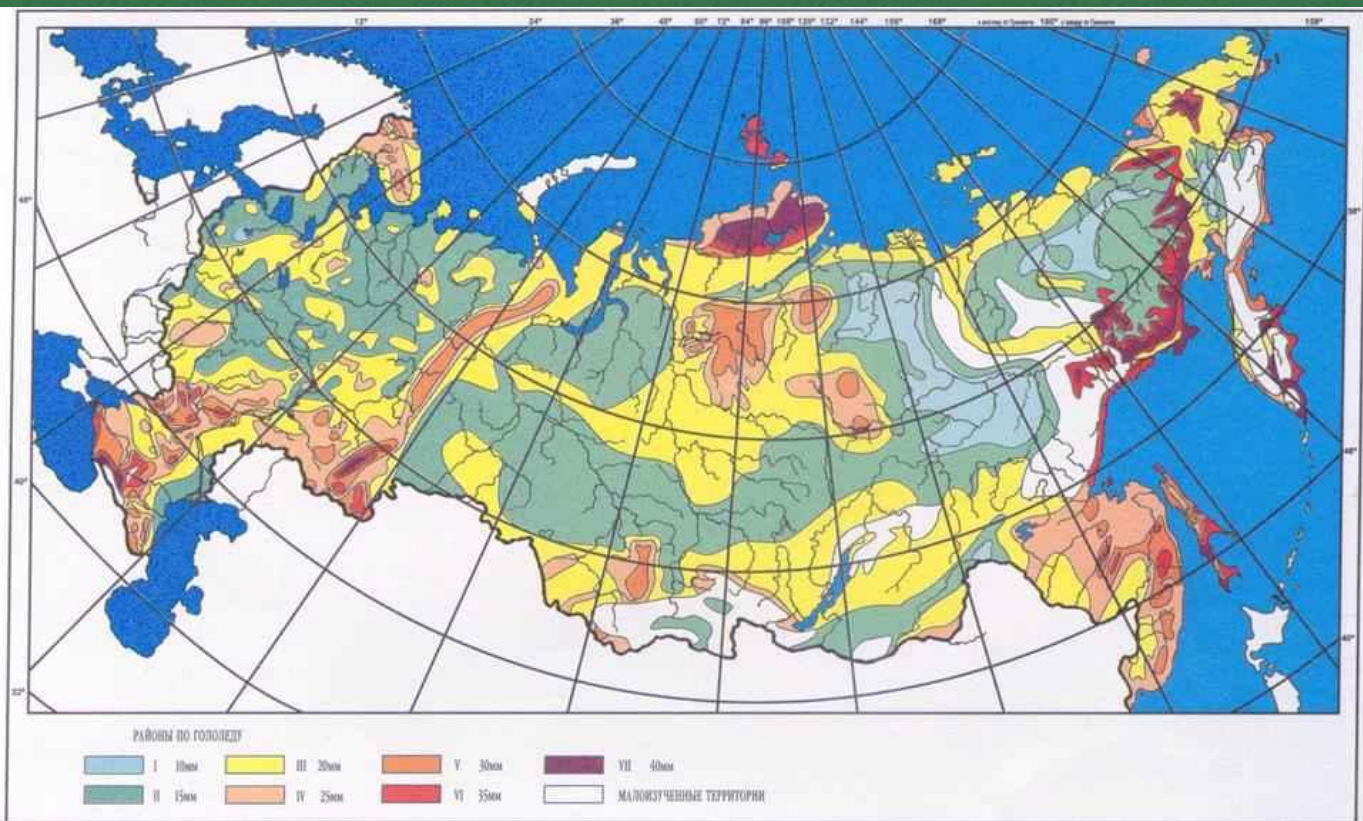
Примечание

В V районе, горных и малоизученных районах, обозначенных на карте, а также в сильнопересеченных местностях (на вершинах гор и холмов, на перевалах, на высоких насыпях, в закрытых горных долинах, котловинах, глубоких выемках и т.п.) толщину стенки гололеда необходимо определять на основании данных специальных обследований и наблюдений.

Для промежуточных высот и диаметров значения коэффициентов определяются линейной интерполяцией

В ПУЭ-7 приведена карта районирования территории России по толщине стенки гололеда

Район	I	II	III	IV	V	VI	VII	Особый	
Нормативная толщина стенки гололеда		10	15	20	25	30	35	40	Выше 40



Температуру воздуха при гололеде для территории с высотными отметками местности до 1000 м над уровнем моря следует принимать равной минус 5 °С, при этом для районов со среднегодовой температурой минус 5 °С и ниже температуру воздуха при гололеде следует принимать равной минус 10 °С. Для горных районов с высотными отметками выше 1000 м и до 2000 м температуру следует принимать равной минус 10 °С, более 2000 м - минус 15 °С. В районах, где при гололеде наблюдается температура ниже минус 15 °С, ее следует принимать по фактическим данным.

Ветровая нагрузка при гололеде

Ветровая нагрузка при гололеде возникает в результате ветрового давления на обледенелый провод. Она зависит от скорости ветра при гололеде и размеров отложения. Расчетная формула для определения ветровой нагрузки на погонный метр обледеневшего провода имеет вид:

$$F_{\text{в}} = 0,075 \times S_{\text{отл}} \times K_{\text{отл}} \times K_{\text{накл}} \times \xi \cdot a \cdot c$$

где, 0,075 – аэродинамический коэффициент ;
 а и с - диаметры отложения (вместе с проводом)

При расчетах ветровой нагрузки на провода воздушных линий (диаметр провода – 10 мм. и высота подвеса – 10 м.) необходимо размеры (площади отложений на гололедном станке) пересчитать на провода воздушных линий. Пересчет осуществляется с помощью коэффициентов K_{Ddh}

а · с, мм ²	скорость ветра, м/с		
	1.0 – 8.0	8.1 - 16	>16
≤ 50	2.50	2.65	2.80
51 – 100	2.15	2.45	2.65
101 – 200	2.00	2.30	2.50
201 – 800	1.85	2.15	2.35
>800	1.70	2.05	2.25

Для определения максимальной ветровой нагрузки:

1. Выбирается период обледенения, когда величина отложения достигла максимума (тот же период, что и для расчета гололедной нагрузки)
2. По данным о скорости ветра при достижении максимума отложения и размерам отложения (диаметры a и c) по табл. (4.32) определяется значение коэффициента K_{Ddh}
3. Произведение ac умножается на коэффициент K_{Ddh} .
4. По формуле рассчитывается величина ветровой нагрузки при достижении максимума отложения
5. Для определения максимальной ветровой нагрузки, возможной не при годовом максимуме отложения, выбирается период отложения, когда наблюдалась максимальная скорость ветра и аналогично рассчитывается

Из ветровых нагрузок рассчитанных для периода с максимальным отложением и периода отложения с максимальной скоростью ветра за каждый сезон выбирается максимальная.

Ряд годовых (сезонных) максимумов ветровых нагрузок ранжируется в возрастающем порядке.

Гололедно – ветровые (результатирующие) нагрузки

Чтобы оценить суммарную (гололедную и ветровую) нагрузку на провода воздушных линий производят расчет результирующей гололедно – ветровой нагрузки (R), которая представляет собой геометрическую сумму двух одновременно действующих компонент – вертикальной нагрузки, определяемой весом гололеда и весом провода, и горизонтальной нагрузки, зависящей от воздействия ветра, т. е.

$$R = \sqrt{(P + p)^2 + Q^2}$$

Где, P - гололедная нагрузка на провод ВЛ, p - вес 1 метра провода (200 г.); Q - ветровая нагрузка

Для того, чтобы определить годовой максимум R необходимо рассчитать результирующие гололедно - ветровые нагрузки для:

1. Для периода обледенения, когда вес отложения был максимальный.

Расчет производится по максимальному весу отложения и соответствующей ему ветровой нагрузке

2. Для периода, когда отмечалась максимальная скорость ветра.

Расчет производится по максимальной ветровой нагрузке и соответствующей ей гололедной нагрузке

Из полученных значений выбирается наибольшее за каждый сезон.

Ряды сезонных максимумов ранжируются в возрастающем порядке.

Для аппроксимации ранжированных рядов используются распределения Гумбеля (аналитический и графический варианты).

номер случая	вид отложения	начало отложения		Продолжительность, ч		Величина отложения			МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ					Расчеты										
		Дата	время, ч	нарастания	случ. отложения	диаметр, мм	толщина, мм	вес, г	В начале отложения			При достижении максимума			У	Р	Kpdh (поправка на ЛЭП)	W (поправка на направление ветра)	P×Kpd (h×W, см (Гололедная нагрузка))	a*с, мм	Kd (поправка на скорость ветра)	ветровая нагрузка	Стенка гололеда, мм	гололедная нагрузка
									температура	направление ветра, град	скорость ветра, м/с	температура	направление ветра, град	скорость ветра, м/с										
1ГЛ		21	5	2	5	0	0	-3,6	180	1	-3	170	1	0,75	0	3,4	1,00	0	25	2,50	0,9	0,0	0,9	
2ГЛ		23	23	3	11	0	0	-0,4	90	2	-0,7	90	2	0,75	0	3,4	1,00	0	25	2,50	3,8	0,0	3,8	
3ГЛ		23	13	5	15	0	0	-0,4	60	2	-0,6	40	1	0,75	0	3,4	1,33	0	25	2,50	3,8	0,0	3,8	
4ГЛ		28	21	4	11	0	0	-0,8	150	1	-0,9	210	2	0,75	0	3,4	1,33	0	25	2,50	3,8	0,0	3,8	
5ГЛ		5	0	5	7	0	0	-0,4	360	1	-0,3	270	1	0,75	0	3,4	1,00	0	25	2,50	0,9	0,0	0,9	
6ГЛ		18	4	4	5	0	0	-1,4	100	1	-0,1	80	3	0,75	0	3,4	1,00	0	25	2,50	8,4	0,0	8,4	
7ГЛ		27	19	23	37	0	0	-2,5	80	4	-0,4	250	1	0,75	0	3,4	1,00	0	25	2,50	15,0	0,0	15,0	
8ГЛ		27	19	23	37	1	0	-2,5	80	4	-0,4	250	1	0,75	3	3,4	1,00	10	30	2,50	16,4	0,3	20,9	
9ГЛ		27	19	23	37	2	1	-2,5	80	4	-0,4	250	1	0,75	10	3,4	1,00	34	42	2,50	19,4	1,1	47,9	
О																								
8МС		1	3	0	5	2	0	-0,1	310	1	-0,4	330	1	0,20	2	3,4	1,82	10	35	2,50	1,1	0,3	11,3	
9ГЛ		1	14	12	69	0	0	-0,4	290	2	-6,2	60	3	0,75	0	3,4	1,33	0	25	2,50	8,4	0,0	8,4	
10ГЛ		1	14	12	69	1	0	-0,4	290	2	-6,2	60	3	0,75	8	3,4	1,33	36	30	2,50	9,2	1,1	45,1	
11ГЛ		1	14	12	69	2	1	-0,4	290	2	-6,2	60	3	0,75	10	3,4	1,33	45	42	2,50	10,9	1,4	56,0	
12ГЛ		1	14	12	69	4	2	-0,4	290	2	-6,2	60	3	0,75	22	3,4	1,33	101	63	2,15	11,5	2,8	123,3	
10ИК		6	1	5	6	1	0	-14,4	50	1	-14	350	1	0,05	0	3,4	1,82	1	30	2,50	1,0	0,0	1,7	
11ИК		8	22	5	9	1	0	-14	300	1	-17,5	240	1	0,05	0	3,4	1,33	1	30	2,50	1,0	0,0	1,5	

Обращаю внимание на то, что в СТО 56947077-29.240.057.2010 в Приложении И есть Пример И.3, где приведен правильный расчет параметров ветровой нагрузки при гололеде в точке для условий стандартной ВЛ.

На стр. 94 рассмотрен расчет условной толщины стенки гололеда для различных вероятностей не превышения. Это правильная формула, которой можно пользоваться

При расчете эквивалентной толщины стенки гололеда, $b_{\text{э}}$ и ветровой нагрузки при гололеде $P_{\text{вр}}$ необходимо использовать методику, приведенную в СТО 56947077-29.240.055.2010 и ПУЭ-7 (для этих величин)

Так же можно использовать «Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики» но с учетом добавления коэффициентов. его можно найти в электронном виде на сайте ГГО.

<http://voeikovmgo.ru/download/publikacii/2008/Rukovodstvo.pdf>

Спасибо за внимание!