УДК [551.506-047.43:621.315.1](23)(575.2)
DOI: 10.36979/1694-500X-2025-25-4-150-159

ОЦЕНКА КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОВЫХ И ГОЛОЛЕДНЫХ НАГРУЗОК НА ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА

О.А. Подрезов, А.О. Подрезов, Ш.Б. Дикамбаев, Ю.П. Симаков

Аннотация. Приводятся научно-практические рекомендации по оценке климатических параметров ветровых и гололедных нагрузок на воздушные линии и другие сооружения, вероятных 1 раз в 5, 10 и 15 лет, для различных областей и высотных зон Кыргызстана. Они получены как результат обобщения многолетних наблюдений метеостанций Кыргызгидромета, а также собственных экспедиционных данных гололедно-ветровых съемок в малоосвещенных метеостанциями склоновых и гребневых зонах хребтов. Установлено, что максимальные скорости ветра, вероятные 1 раз в 10 лет, изменяются здесь в пределах от 25 до 43 м/с, а максимальные гололедные осадки на 1 погонный метр проводов от 0,6 до 7 кг/пм (нормативная стенка гололеда от 10 до 43 мм). Полученные результаты рекомендуются для практического использования при проектировании, строительстве и эксплуатации ВЛ и других сооружений на ветровые и гололедные нагрузки.

Ключевые слова: территория Кыргызстана; максимальные скорости ветра и гололедные отложения; практические рекомендации для проектирования воздушных линий электропередачи.

КЫРГЫЗСТАНДЫН АЙМАГЫНДАГЫ АБА ЭЛЕКТР ЛИНИЯЛАРЫНА ШАМАЛДЫН ЖАНА МУЗ ЖҮКТӨРҮНҮН КЛИМАТТЫК ПАРАМЕТРЛЕРИН БААЛОО

О.А. Подрезов, А.О. Подрезов, Ш.Б. Дикамбаев, Ю.П. Симаков

Аннотация. Кыргызстандын ар кайсы аймактары жана бийик тоолуу зоналары үчүн 5, 10 жана 15 жылда бир жолу болушу мүмкүн болгон аба линияларына жана башка курулуштарга шамалдын жана муз жүктөрүнүн климаттык параметрлерин баалоо боюнча илимий жана практикалык сунуштар берилген. Алар Кыргызгидрометтин метеостанцияларынын узак жылдар бою жүргүзүлгөн байкоолорунун жалпылоосу катары, ошондой эле метеостанциялар тарабынан начар жарык кылынган тоо кыркаларынын жантайма жана кырка зоналарындагы муз-шамал изилдөөлөрдүн өзүбүздүн экспедициялык маалыматтары катары алынды. Бул жерде шамалдын максималдуу ылдамдыгы, болжол менен 10 жылда бир жолу, 25тен 43 м/с чейин өзгөрүп тураары жана зымдардын 1 сызыктуу метрине муздун максималдуу жаан-чачыны 0,6дан 7 кг/мүнө чейин (нормативдик муз дубалы 10дон 43 ммге чейин) аныкталды. Алынган натыйжалар шамал жана муз жүктөрү үчүн аба линияларын жана башка курулуштарды долбоорлоодо, курууда жана эксплуатациялоодо практикалык колдонуу үчүн сунушталат.

Түйүндүү сөздөр: Кыргызстандын аймагы; шамалдын максималдуу ылдамдыгы жана муз катмарлары; аба электр линияларын долбоорлоо боюнча практикалык сунуштар.

ASSESSMENT OF CLIMATIC PARAMETERS OF WIND POWERS AND ICE LOADS ON OVERHEAD POWER LINES FOR THE TERRITORY OF KYRGYZSTAN

O.A. Podrezov, A.O. Podrezov, Sh.B. Dikambaev, Yu.P. Simakov

Abstract. Scientific and practical recommendations are provided for assessing the climatic parameters of wind and ice loads on overhead lines and other structures, likely once every 5, 10 and 15 years, for various regions and high-altitude

zones of Kyrgyzstan. They were obtained as a generalization of long-term observations of Kyrgyzhydromet weather stations, as well as our own expeditionary data of ice-wind surveys in the slope and ridge zones of the ridges, poorly illuminated by weather stations. It has been established that maximum wind speeds, probable once every 10 years, vary here from 25 to 43 m/s, and maximum ice precipitation per 1 linear meter of wires from 0.6 to 7 kg/pm (normative ice wall from 10 to 43 mm). The results obtained are recommended for practical use in the design, construction and operation of overhead lines and other structures for wind and ice loads.

Keywords: territory of Kyrgyzstan; maximum wind speeds and ice deposits; practical recommendations for designing overhead power lines.

Введение. В настоящее время климат и климатические условия любой территории обычно понимаются как ее климатические ресурсы, которые представляют собой «запасы вещества, энергии и информации в климатической системе (преимущественно в атмосфере), которые используются или могут быть использованы, для решения конкретной задачи в экономике или социальной сфере» [1, 2]. При проектировании и строительстве воздушных линий электропередачи (ВЛ) необходимо учитывать целый ряд климатических показателей, из которых внешние механические ветровые и гололедные нагрузки на провода, грозозащитные тросы и опоры, вызываемые сильными скоростями ветра и гололедными отложениями, являются основными показателями, определяющими их стоимость и надежность в эксплуатации. Разработаны специальные правила по учету этих показателей при расчете ВЛ ПУЭ [3] и других сооружений СНиП [4–6] по результатам многолетних наблюдений метеостанций. К сожалению, практически все полученные к настоящему времени специальные карты и описания территориальных распределений климатических параметров ветровых и гололедных нагрузок на технические сооружения, относятся к равнинным территориям, на которых горные области Кыргызстана заштрихованы, как малоизученные районы, где для их определения требуется проведение специальных дополнительных исследований.

В качестве примеров на рисунках 1 и 2 показан случай разрушения ВЛ 220 кВ от сильного бокового ветра и возможные большие гололедные осадки (плотная изморозь) на конструкциях горных ВЛ.

Целью настоящей статьи является разработка научно-практических рекомендаций по определению климатических параметров ветровых и гололедных нагрузок на ВЛ для сложной горной территории Кыргызстана по результатам многолетних климатических исследований, проведенных в течение 1965–2020 гг. «лабораторией прикладных геофизических исследований» Киргизского научно-исследовательского отдела энергетики (1965–1980 гг.) и кафедрой метеорологии сначала в составе Киргизского государственного университета (1981–1993 гг.), а затем Кыргызско-Российского (Славянского) университета (1994–2020 гг.).

Средняя высота территории Кыргызстана, составляет 2,684 км, протяженность в меридиональном и широтном направлениях равна соответственно 420 и 925 км. Общая площадь территории 198,5 тс км^2, при этом на высотах, превышающих 1, 2 и 3 км, находится соответственно 94,1, 71,7 и 40,2 % [1]. Поэтому его главной климатической особенностью являются высотные зависимости для многих климатических характеристик, в том числе максимальных скоростей ветра и гололедных отложений. Однако эти высотные зависимости в горах имеют только статистический (корреляционный) характер. На них всегда накладываются меняющиеся по силе воздействия местные орографические условия, которые затушевывают, искажают, а порой и вовсе могут подавить высотный фактор. Кроме того, метеостанции в Кыргызстане, как и в других горных областях, как правило, располагаются в подгорных равнинах, днищах межгорных долин (котловин), в склоновых долинах, а также на отдельных перевалах, по которым проходят магистральные автодороги [7–14]. Они практически не освещают орографически открытые и опасные, с точки зрения наличия сильных ветров и гололедных отложений, склоны и гребни хребтов, занимающие основную часть его территории. Это потребовало проведения многолетних климатических исследований с организацией специальных экспедиционных гололедно-ветровых съемок в сложных зимних условиях на неосвещенных метеостанциями склонах и гребнях хребтов. Полученные результаты были проанализированы с использованием современных статистических методов

Рисунок 1 – Поломка опоры ВЛ 220 кВ от сильного бокового ветра

Рисунок 2 – Отложение на опоре горной ВЛ плотной изморози массой 20 кг/м в Кыргызстане (слева) и на опытном пролете массой 35 кг/м на Урале (справа)

[15–17] и описаны в обобщающих работах [10, 13]. Они послужили основой для разработки приводимых в настоящей статье научно-технических рекомендаций по учету климатических параметров ветровых нагрузок на территории Кыргызстана.

Для учета главных климатических особенностей различных областей территории Кыргызстана использовалось общепринятое ее деление на следующих 4-х климатических провинциях (природно-климатические области), границы которых показаны на схематической карте рисунка 3 [1, 7]:

- Северный, Северо-Западный Кыргызстан (ССЗК);
- Иссык-Кульская котловина (ИКК) или Северо-Восточный Кыргызстан;
- Юго-Западный Кыргызстан (ЮЗК);
- Внутренний Тянь-Шань (ВТШ).

Границы этих климатических провинций проходят гребням основных хребтов следующим образом: ССЗК – южная граница с запада на восток проходит по гребням хребтов Таласский, Кыргызский, Кунгей Ала-Тоо; ИКК – ограничена на севере хребтом Кунгей, а на юге – Терскей Ала-Тоо; ЮЗК – представляет собой горное обрамление Ферганской впадины и граничит на севере с ССЗК, а на востоке – с ВТШ (восточная граница ЮЗК проходит по гребню Ферганского хребта); ВТШ представляет

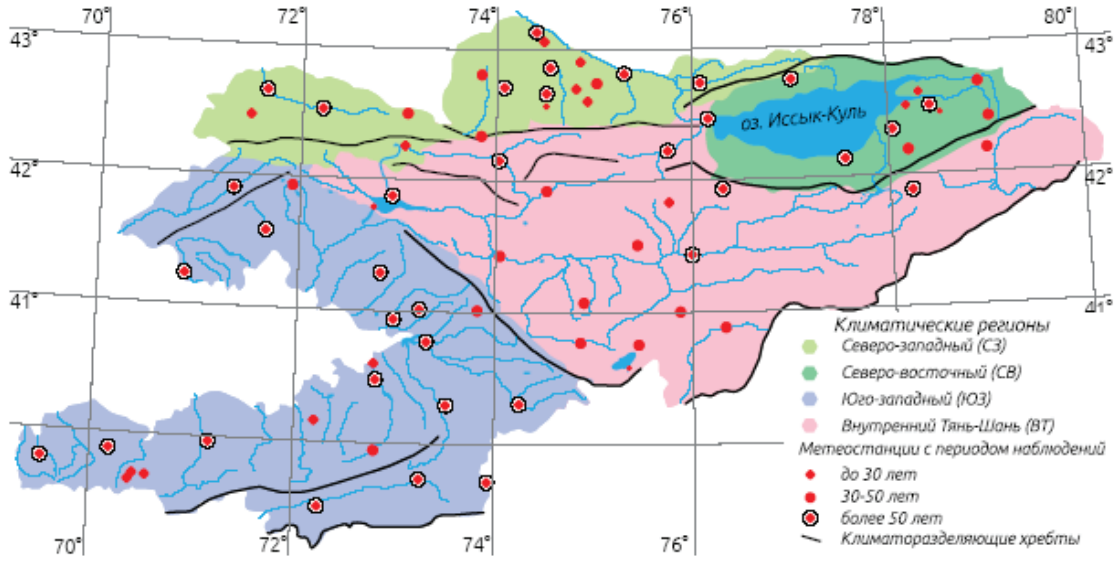

Рисунок 3 – Схематическая карта Кыргызстана с границами климатических провинций и расположением действующих метеостанций

собой высокое внутреннее нагорье, ограниченное с севера ССЗК и ИКК, с запада – ЮЗК, а с юга – высоким пограничным хребтом Кок-Шаал.

1. Климатические параметры ветровых нагрузок. В соответствии с действующими ПУЭ [3], при ветровом районировании территории по нормативным ветровым нагрузкам следует выделять следующие 4 нормативных ветровых района с градациями скоростного напора, вероятным 1 раз в 10 лет – q_{10} Па (Паскалей), и соответствующим ему скоростям ветра 10-минутного осреднения на высоте 10 м над земной поверхностью – V_{10} м/с, равными:

1 ветровой район q_{10} = 350 Па (V_{10} = 24 м/с),
2 ветровой район q_{10} = 500 Па (V_{10} = 29 м/с),
3 ветровой район q_{10} = 650 Па (V_{10} = 33 м/с),
4 ветровой район q_{10} = 800 Па (V_{10} = 37 м/с).

Примечание: В горных и неизученных районах q_{10} и V_{10} определяются по фактическим данным метеостанций и результатам региональных климатических исследований.

При этом линии напряжением 3–330 кВ рассчитываются на максимальные значения q_{10} и V_{10} (вероятные 1 раз в 10 лет), линии напряжением менее 3 кВ – на значения q_5 и V_5 (вероятные 1 раз в 5 лет), линии напряжением 500 кВ – на значения q_{15} и V_{15} (вероятные 1 раз в 15 лет).

Для учета этого положения по данным метеостанций Кыргызстана были установлены следующие соотношения между скоростями ветра, вероятными 1 раз в 5, 10 и 15 лет, которыми рекомендуется пользоваться на практике [13, 14]:

$$V_5 = 0{,}88V_{10}+1{,}0, \qquad V_{15} = 1{,}07V_{10} - 0{,}4. \tag{1}$$

Согласно результатам проведенных климатических исследований, расчетные значения максимальных скоростей ветра для различных участков и высотных зон Кыргызстана определяются следующим образом.

Днища обширных долин и котловин, узкие склоновые долины. В днищах обширных низкогорных, среднегорных и высокогорных долин и котловин на территории Кыргызстана (например, Чуйская, Суусамырская, Арпинская и др.), а также во всех узких склоновых долинах и ущельях, независимо от

их расположения, высоты и ориентации, максимальные скорости соответствуют первому ветровому району с нормативными значениями равными: V_5 = *22 м/с,* V_{10} = *24 м/с и* V_{15} = *25 м/с.* Полный перечень долин и котловин Кыргызстана с указанием высот и размеров их днищ содержится в Атласе Киргизской ССР [1, с. 36].

Исключение представляет Иссык-Кульская котловина (ИКК), в западной части который наблюдается местный штормовой ветер «улан», а в восточной части – местный штормовой ветер «сан-таш». Природа, зоны распространения и другие особенности этих ветров приведены в работах [13, 18–19]. В результате, в различных зонах днища котловины (высоты 1,6–2 км) можно выделить следующие значения расчетных скоростей ветра:

- западная часть северного побережья ИКК (местный западный ветер «улан») на участках: от выхода из Боомского ущелья до с. Тору-Айгыр V_{10} = 37 м/с, от с. Тору-Айгыр до с. Тамчи V_{10} = 33 м/с, от с. Тамчи до с. Чон-Сары-Ой V_{10} = 29 м/с, восточнее с. Чон-Сары-Ой – V_{10} = 24 м/с;
- западная часть южного побережья ИКК на участках (местный северо-западный ветер «улан»): от горы Бозбормак (отметка 1815 м) до мыса Оттук (р. Туура-Су) V_{10} = 33 м/с, от мыса Оттук до отрога с отметкой 2321 м (р. Ак-Терек) V_{10} = 29 м/с, восточнее отрога с отметкой 2321 м V_{10} = 24 м/с;
- восточная часть ИКК (местный восточный, северо-восточный ветер санташ) – от крайних восточных подножий хребтов Кунгей и Терской Ала-Тоо до восточного побережья озера V_{10} = 29 м/с.

Склоны внешних хребтов-барьеров ССЗК, ИКК и ЮЗК. К таким хребтам относятся:

- субширотные хребты северной периферии Тянь-Шаня – Кунгей, Киргизский, Таласский;
- субмеридирнальные хребты Западного Тянь-Шаня – Пскемский, Чандалашский, Чаткальсий, Ат-Ойноксий, Ферганский;
- субширотные хребты Памиро-Алая – Туркестанский и Алайский.

Для определения максимальных скоростей V_5, V_{10} и V_{15} на склонах внешних хребтов-барьеров следует использовать модель высотной зависимости расчетных скоростей, полученную для склонов таких хребтов [10, 13, 14], которая приведена в таблице 1. В ней высотное распределение скоростей V_5, V_{10} и V_{15}, выражено в приведенных высотах $z_{пр.}$, которые безразмерны, выражаются в долях единицы и определяемых по формуле:

$$z_{пр.} = \frac{z - z_{подн.}}{z_{греб.} - z_{подн.}}, \qquad (2)$$

где z, км – высота задаваемой точки склона; $z_{подн.}$, км – средняя высота подножья хребта, определяемая по карте; $z_{греб.}$, км – средняя высота гребня хребта, определяемая по карте.

Таблица 1 – Модель высотных зависимостей максимальных скоростей V_5, V_{10} и V_{15} (м/с) в приведенных высотах для внешних склонов хребтов-барьеров ССЗК и ЮЗК [10, 13, 14]

Параметр	Приведенная высота точки склона $z_{пр}$ (доли единицы)										
0		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
V_5	22	24	25	26	28	30	32	33	34	36	38
V_{10}	25	27	28	30	32	34	36	37	39	41	43
V_{15}	26	28	30	32	34	36	38	39	41	43	46

Задача состоит в том, чтобы по модельным данным таблицы 1 получить распределение скоростей V_5, V_{10} и V_{15} по склону требуемого хребта (или его высотного профиля) в абсолютных высотах z (км), для которого по карте предварительно следует определить значениями: $z_{подн.}$ и $z_{греб.}$.

Процедура таких расчетов состоит в следующем. Сначала задается конкретный хребет и по картам М 1:500 000 (и крупнее) определяется для него средние высоты подножья и гребня. Пусть, например, это будет северный склон Киргизского хребта, для которого по карте найдено: $z_{подн.}$ = 0,93 км, $z_{гребн.}$ = 4,05 км. Заметим, что значения $z_{гребн.}$ можно взять из «Атласа Киргизской ССР [1, с. 36]. Расчеты также можно вести, используя данные $z_{подн.}$ и $z_{гребн.}$ не для всего хребта, а для его заданного участка протяженностью 30–50 км, т. е. для заданного на этом хребте высотного профиля этой ширины.

Дальнейшую процедуру расчетов V_5, V_{10} и V_{15} (м/с) покажем на конкретном примере Киргизского хребта. Выразим из (2) значение z и получим формулу, необходимую для перехода от заданных $z_{пр.}$ по таблице 1 к абсолютным высотам z точки склона на искомом хребте:

$$Z = z_{подн.} + z_{пр.}(z_{гребн.} - z_{подн.}). \quad (3)$$

Подставляя в (3) переменные значения $z_{пр}$ (равные 0, 0,1, 0,2…1,0), а также постоянные $z_{гребн.}$ = 4,05 км и $z_{подн}$ = 0,93 км, найдем для искомого хребта абсолютные высоты *z* в км, которым соответствуют V_5, V_{10} и V_{15}, приведенные по таблице 1. Так, например, для северного склона Киргизского хребта, при $z_{подн.}$ = 0,93 км, $z_{гребн.}$ = 4,05 км, получим зависимости V_5, V_{10} и V_{15} в абсолютных высотах *z*, показанные в таблице 2.

Таблица 2 – Найденные высотные профили V_5, V_{10} и V_{15} (м/с) в абсолютных высотах z (км) для северного склона Киргизского хребта ($z_{подн.}$ = 0,93 км и $z_{гребн.}$ = 4,05 км)

Параметр	Абсолютная высота точки склона, км										
	0,93	1,24	1,55	1,87	2,18	2,49	2,80	3,11	3,43	3,74	4,05
V_5	22	24	25	26	28	30	32	33	34	36	38
V_{10}	25	27	28	30	32	34	36	37	39	41	43
V_{15}	26	28	30	32	34	36	38	39	41	43	46

Полученные таким образом высотные зависимости V_5, V_{10} и V_{15} в абсолютных высотах для северного склона Киргизского хребта следует использовать на практике для определения ветрового района и соответствующих величин нормативных скоростных напоров. Для любых заданных высот это делается линейной интерполяцией данных таблицы 2. Аналогичным путем выполняются расчеты V_5, V_{10} и V_{15} для любых других внешних хребтов-барьеров ССЗК и ЮЗК.

Склоны хребтов ВТШ (включая северный склон хр. Терскей в ИКК). Все хребты Внутреннего Тянь-Шаня можно *назвать внутренними блокированными хребтами*, так как они окружены высокими внешними хребтами-барьерами. Однако верхние части склонов таких блокированных хребтов могут превышать высоту уровня блокирования. Поэтому следует разделять склоны высоких блокированных хребтов ВТШ на две группы участков: а) участки слонов *ниже уровня блокирования* передовыми хребтами-барьерами; б) участки слонов *выше уровня блокирования* передовыми хребтами-барьерами. Исходя из значений высот гребней передовых хребтов-барьеров, приведенных в [1, с. 36], и имеющихся данных о скоростях ветра на высокогорных метеостанциях Средней Азии [11] и опыта эксплуатации действующих ВЛ, можно принять в качестве высоты уровня блокирования для территории ВТШ значение около 3–3,5 км (эту высоту целесообразно уточнять для каждого заданного района).

Для участков склонов хребтов ВТШ, в зонах от их подножий и до высот уровня блокирования, значения максимальных скоростей V_5, V_{10} и V_{15} рекомендуется принимать равными второму ветровому району: V_5 = *27 м/с,* V_{10} = *29 м/с и* V_{15} = *31 м/с.* Значения максимальных скоростей выше уровня блокирования следует принимать по данным таблицы 3.

Таблица 3 – Значения скоростей V_5, V_{10} и V_{15} для участков склонов внутренних хребтов ВТШ для высот выше уровня блокирования

Скорость	Высота стандартных слоев, км		
	3–3,5	3,5–4	4–4,5
V_5, м/с	30	34	39
V_{10}, м/с	33	37	43
V_{15}, м/с	35	39	46

2. Климатические параметры гололедных нагрузок. Гололедные отложения осаждаются на элементах конструкций ВЛ из переносимых ветром переохлажденных, до –5…–16 °С капель туманов, опустившихся низких облаков или облаков, накрывающих склон [6, 8, 14]. Реже это может быть переохлажденный дождь при слабо отрицательных температурах, или налипающий мокрый снег. Гололедные отложения могут иметь вид собственно гололеда с плотностью около 0,9 г/см^3, плотной снеговидной изморози с плотностью 0,1–0,3 г/см^3, налипающего мокрого снега (такой же плотности), кристаллической изморози (малой плотности – 0,05 г/см^3 и поэтому неопасного малого веса), а также их чередующихся слоев, т. е. смесей различных осадков, возникающих при меняющихся погодных условиях. На рисунке 2 показаны примеры больших отложений плотной изморози, зарегистрированных в гребневой зоне хребтов Тянь-Шаня и Урала, которые создают очень опасные гололедные нагрузки [14].

В качестве нормативного параметра гололедной нагрузки принимается максимальная масса гололедного осадка P_{10} (кг/м), приходящаяся на 1 м длины провода, имеющего диаметр 10 мм и высоту подвеса 10 м над земной поверхностью, которая наблюдается в данной местности с повторяемостью 1 раз в 10 лет. Исторически сложилось так, что эта норма в ПУЭ и СНиП выражается в толщине образующейся на проводе стенки эквивалентного гололеда b_{10} (мм) с плотностью 0,9 г/см^3, приведенного к высоте провода 10 м и его диаметру 1 см [3, 4, 6].

В соответствие с ПУЭ [3], при гололедном районировании территории следует выделять 6 нормативных гололедных районов, приведенных в таблице 4, с различными градациями нормативной гололедной стенки b_{10} (мм), создаваемой максимальным гололедным осадком, вероятным 1 раз в 10 лет. Соответствующие этим нормативным стенкам b значения массы гололедных осадков p, приходящихся на погонный метр провода (п.м.), могут быть определены по формуле:

$$P = 283b(b+1), \quad (4)$$

где P, г/п.м; b, см.

Таблица 4 – Нормативные гололедные районы, соответствующие им значения стенок b_{10} (мм) и масс осадков p_{10} (кг/п.м.), вероятных 1 раз в 10 лет

Гололедный район	b_{10} (мм)	p_{10} (кг/п.м)	Гололедный район	b_{10} (мм)	p_{10} (кг/п.м)
1	10	0,6	4	25	2,5
2	15	1,1	5	30	3,4
3	20	1,7	6	>30	>3,4

Примечание: в малоизученных районах значения b_{10} определяются по фактическим данным метеостанций и результатам региональных климатических исследований.

При этом линии напряжением 3–330 кВ рассчитываются на максимальные значения b_{10} (вероятные 1 раз в 10 лет), линии напряжением менее 3 кВ – на значения b_5 (вероятные 1 раз в 5 лет), линии напряжением 500 кВ – на значения b_{15} (вероятные 1 раз в 15 лет). Для горных районов Кыргызстана [10, 13, 14] установлены следующие статистические зависимости (2) между b_{10} (мм), а также b_5 и b_{15} (мм), которыми рекомендуется пользоваться на практике:

$$b_5 = 0{,}88b_{10} - 0{,}6, \qquad b_{15} = 1{,}08b_{10} + 0{,}4. \tag{5}$$

Согласно результатам проведенных климатических исследований, расчетные значения максимальных гололедных отложений для различных участков и высотных зон Кыргызстана определяются следующим образом.

Днища всех обширных долин и котловин, а также узких склоновых долин. В днищах обширных низкогорных, среднегорных и высокогорных долин и котловин всех климатических провинций Кыргызстана (Иссык-Кульская, Чуйская, Суусамырская, Арпинская и др.), а также в узких склоновых долинах и ущельях, независимо от их расположения, высоты и ориентации, максимальные гололедные отложения соответствуют первому гололедному району с нормативными стенками равными: b_5 = 8 мм, b_{10} = 10 мм *и* b_{15} = 11 мм. Этим значениям стенок соответствуют массы гололедных осадков p на проводе диаметром 1 см, подвешенном на высоте 10 м, равные $p_5 = 0{,}41$, $p_{10} = 0{,}57$ и $p_{15} = 0{,}65$ кг/м. Полный перечень долин и котловин Кыргызстана с указанием высот и размеров их днищ содержится в Атласе Киргизской ССР [1]. Исключение представляют локальные зоны орографических усилений гололедных отложений, для которых они определяются по прямым данным метеостанций и опыта эксплуатации линий.

Склоны внешних хребтов-барьеров ССЗК, ИКК и ЮЗК. К таким хребтам, как уже отмечалось выше, относятся:

- субширотные хребты северной периферии Тянь-Шаня – Кунгей, Киргизский, Таласский;
- субмеридирнальные хребты Западного Тянь-Шаня – Пскемский, Чандалашский, Чаткальсий, Ат-Ойноксий, Ферганский;
- субширотные хребты Памиро-Алая –Туркестанский и Алайский.

Для определения максимальных гололедных отложений на склонах внешних хребтов-барьеров используется точно такая же методика, которая была описана выше для расчетных скоростей ветра. Для расчетов используется модель высотной зависимости расчетных стенок гололеда b_5, b_{10} и b_{15}, полученная для склонов внешних хребтов-барьеров ССЗК и ЮЗК, которая задана в таблице 5 в приведенных высотах (2).

Таблица 5 – Модель высотных зависимостей максимальных гололедных отложений b_5, b_{10} и b_{15} (мм) в приведенных высотах (2) для внешних склонов хребтов-барьеров ССЗК и ЮЗК [10, 13, 14]

Стенка	Высота точки склона в приведенных высотах $z_{пр}$ (доли единицы)										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
b_5	3	9	11	13	16	19	22	25	27	30	33
b_{10}	6	14	17	20	24	27	31	35	38	41	45
b_{15}	12	21	24	28	32	36	40	45	48	51	56

Пусть, например, требуется определить распределение расчетных гололедных стенок b_5, b_{10} и b_{15} (мм) в абсолютных высотах z (км) для северного склона Киргизского хребта, для которого по карте было найдено: $z_{подн.} = 0{,}93$ км, $z_{гребн.} = 4{,}05$ км. Выполнив переход к абсолютным высотам по (3), точно также, как это было сделано выше для скоростей вера, получим требуемое высотное распределение стенок в км, приведенное в таблице 6.

Таблица 6 – Найденные высотные зависимости b_5, b_{10} и b_{15} (мм) в абсолютных высотах z (км) для северного склона Киргизского хребта ($z_{подн.}$ = 0,93 км и $z_{гребн.}$ = 4,05 км)

Стенка	Абсолютная высота точки склона, км										
	0,93	1,24	1,55	1,87	2,18	2,49	2,80	3,11	3,43	3,74	4,05
b_5	3	9	11	13	16	19	22	25	27	30	33
b_{10}	6	14	17	20	24	27	31	35	38	41	45
b_{15}	12	21	24	28	32	36	40	45	48	51	56

Эти высотные зависимости b_5, b_{10} и b_{15} в абсолютных высотах для северного склона Киргизского хребта следует использовать на практике для определения ветрового района и соответствующих величин нормативных скоростных напоров. Аналогичным образом делаются расчеты b_5, b_{10} и b_{15} во всех других случаях.

Склоны хребтов ВТШ (включая северный склон хр. Терскей). Как и для скоростей ветра, все хребты Внутреннего Тянь-Шаня можно назвать *внутренними блокированными хребтами*, так как они окружены высокими внешними хребтами-барьерами. Однако верхние части склонов блокированных хребтов могут превышать уровень блокирования. Поэтому следует разделять склоны таких высоких блокированных хребтов на две группы участков: а) участки слонов *ниже уровня блокирования* передовыми хребтами-барьерами; б) участки слонов *выше уровня блокирования* передовыми хребтами-барьерами.

Исходя из значений высот гребней передовых хребтов-барьеров, приведенных в [1], имеющихся данных о гололедных отложениях на высокогорных метеостанциях Средней Азии и опыта эксплуатации действующих ВЛ, можно принять в качестве высоты уровня блокирования значение около 3–3,5 км (эту высоту следует уточнять в каждом конкретном случае).

Для участков склонов внутренних хребтов Тянь-Шаня, в зонах от их подножий и до высот уровня блокирования, значения нормативных стенок гололеда b_5, b_{10} и b_{15} рекомендуется принимать равными второму гололедному району: b_5 = 13 мм, b_{10} = 15 мм и b_{15} = 17 мм. Этим стенкам соответствуют массы осадков на проводе диаметром 1 см, подвешенном на высоте 10 м, равные 0,85 кг/м, 1,06 кг/м и 1,3 кг/м. Значения стенок выше уровня блокирования *сл*едует принимать по данным таблицы 7.

Таблица 7 – Значения нормативных стенок гололеда b_5, b_{10} и b_{15} (мм) на участках склонов внутренних хребтов ВТШ для высот выше уровня блокирования

Стенка	Высота стандартных слоев в км		
	3–3,5	3,5–4	4–4,5
b_5	17	21	26
b_{10}	20	25	30
b_{15}	22	28	33

Приведенные выше рекомендации по оценке климатических параметров ветровых и гололедных нагрузок на территории Кыргызстана, начиная с 1965 г., использовались Среднеазиатскими отделениями институтов «Энергосетьпроект» и «Сельэнергопроект» при проектировании воздушных линий электропередачи высоковольтных воздушных линий. С их учетом, например, запроектированы ВЛ 220 кВ «Быстровка – Рыбачье» (вторая цепь), ВЛ 500 кВ «ТГЭС – Андижан/Жалал-Абад», ВЛ 500 кВ «ТГЭС – п/ст Фрунзе» и др.

Поступила: 03.03.2025; рецензирована: 17.03.2025; принята: 19.03.2025.

Литература

1. Атлас Киргизской ССР. Том 1. Природные условия и ресурсы. М.: ГУГК СССР. 1987. 157 с.
2. Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации. СПб.: Гидрометеоиздат, 2005. 319 с.
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Энергоатомиздат, 1989. 96 с.
4. СНиП 2.01.07–85. Нагрузки и воздействия. М.: Госстрой СССР, 1986. 34 с.
5. СНиП 23.01–09. Строительная климатология. М.: Госстрой России, 2006. 67 с.
6. *Заварина М.В.* Строительная климатология / М.В. Заварина. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 336 с.
7. Климат Киргизской ССР / под ред. З.А. Рязанцевой. Фрунзе: Илим, 1965. 289 с.
8. Климатология / под ред. проф. О.А. Дроздова, проф. Н.В. Кобышевой. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 568 с.
9. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Вып. 32. Киргизская ССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 375 с.
10. *Подрезов О.А.* Высотная климатическая зональность Кыргызстана: численная оценка высотных зависимостей метеорологических величин / О.А. Подрезов // Гидрометеорология и образование. 2021. № 1. С. 6–28.
11. *Подрезов О.А.* Основные закономерности режима ветра на территории Тянь-Шаня / О.А. Подрезов // Гидрометеорология и образование. 2020. № 3. С. 20–41.
12. Опасные гидрометеорологические явления в Средней Азии. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 236 с.
13. *Подрезов О.А.* Горная климатология и высотная климатическая зональность Кыргызстана / О.А. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2014. 170 с.
14. *Подрезов О.А.* Опасные скорости ветра и гололедные отложения в горных районах / О.А. Подрезов. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 223 с.
15. *Закс Л.* Статистическое оценивание / Л. Закс; пер. с нем. В.Н. Варыгиной. М.: Статистика, 1976. 598 с.
16. *Першин И.И.* Результаты измерения гололедных нагрузок в гребневой зоне Тянь-Шаня / И.И. Першин //Труды КазНИГМИ. 1970. Вып. 35. С 57–63.
17. *Першин И.И.* Оценка расчетных параметров гололедных и ветровых нагрузок при ограниченном объеме исходных данных / И.И. Першин, И.П. Суханов // Гололедные и ветровые воздействия на конструкции горных ВЛ. М.: Научно-исслед. энергетич. ин-ут, 1986. С. 110–120.
18. *Подрезов О.А.* Бури в аэропорту Иссык-Куль: анализ автоматизированных метеорологических измерений за 2017–2019 гг. / О.А. Подрезов // Гидрометеорология и образование. 2020. № 4. С. 6–29.
19. *Подрезов О.А.* Климатическая характеристика местного штормового ветра улан в районе аэропорта Иссык-Куль / О.А. Подрезов, Ю.А. Подрезова // Вестник КРСУ. 2021. Т. 21. № 8. С. 135–143.